

DERWENT-ACC-NO: 2000-593986
DERWENT-WEEK: 200172
COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Controlled magnetic bearing device for supporting rotary body,
comprises electromagnet for generating magnetic force by making use of signal coming from power amplifier

INVENTOR: SHINOZAKI, H

PATENT-ASSIGNEE: EBARA CORP[EBAR]

PRIORITY-DATA: 1999JP-0144701 (May 25, 1999) ,
1999JP-0018720 (January 27, 1999)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE
PAGES	MAIN-IPC	
WO 200045059	August 3, 2000	J
055	F16C 032/04	
A1	May 28, 2001	N/A
000	F16C 039/06	
TW 436586 A	October 13, 2000	N/A
014	F16C 032/04	
JP 2000283159	January 3, 2001	E
000	F16C 032/04	
A	May 25, 2001	N/A
000	F16C 032/04	
EP 1065395 A1		
KR 2001042206		
A		

DESIGNATED-STATES: KR US AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR
IE IT LU MC NL PT SE A
T BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
APPL-DATE		
WO	N/A	2000WO-JP00272
January 21, 2000		

200045059A1	N/A	2000TW-0101141
January 25, 2000		
TW 436586A	N/A	1999JP-0144701
May 25, 1999		
JP2000283159A	N/A	2000EP-0900852
January 21, 2000		
EP 1065395A1	N/A	2000WO-JP00272
January 21, 2000		
EP 1065395A1	Based on	WO 200045059
N/A		
EP 1065395A1	N/A	2000KR-0710700
September 26, 2000		
KR2001042206A		

INT-CL (IPC): F16C032/04; F16C039/06 ; G05D003/12 ;
H02K007/09

ABSTRACTED-PUB-NO: WO 200045059A
BASIC-ABSTRACT: NOVELTY - The magnetic bearing device comprises a displacement sensor for detecting radial displacement of a rotary body, and a first control unit for operating and outputting a first control signal on the basis of a sensor signal from the displacement sensor. A second control unit receives the sensor signal and generates and outputs a second control signal having a phase changed from that of the sensor signal. A signal synthesizer generates a control signal by adding the second control signal to the first control signal and outputs the generated control signal to a power amplifier. The power amplifier drives an electric current on the basis of the control signal, and an electromagnet generates a magnetic force by making use of a signal coming from the power amplifier.

USE - For floating and supporting a rotary body stably by generating control signal on the basis of a sensor signal coming from displacement sensor for detecting radial displacement of the rotary body.

ADVANTAGE - Suppresses the whirling of the rotary body caused by an external

force synchronized with the rotation.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows a controlled magnet bearing device.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/29

TITLE-TERMS:

CONTROL MAGNETIC BEARING DEVICE SUPPORT ROTATING BODY
COMPRISE ELECTROMAGNET
GENERATE MAGNETIC FORCE SIGNAL POWER AMPLIFY

DERWENT-CLASS: Q62 T06 V06 X11 X25

EPI-CODES: T06-B02B; V06-M10; X11-J05X; X25-L06;

SECONDARY-ACC-NO:

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N2000-439931



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

<p>(51) 国際特許分類7 F16C 32/04, H02K 7/09, G05D 3/12</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO00/45059</p> <p>(43) 国際公開日 2000年8月3日(03.08.00)</p>						
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP00/00272</p> <p>(22) 国際出願日 2000年1月21日(21.01.00)</p> <p>(30) 優先権データ</p> <table border="0"> <tr> <td>特願平11/18720</td> <td>1999年1月27日(27.01.99)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>特願平11/144701</td> <td>1999年5月25日(25.05.99)</td> <td>JP</td> </tr> </table> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 荏原製作所(EBARA CORPORATION)[JP/JP] 〒144-8510 東京都大田区羽田旭町11番1号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および</p> <p>(75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 篠崎弘行(SHINOZAKI, Hiroyuki)[JP/JP] 〒144-8510 東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社 荏原製作所内 Tokyo, (JP)</p> <p>(74) 代理人 渡邊 勇, 外(WATANABE, Isamu et al.) 〒160-0023 東京都新宿区西新宿7丁目5番8号 GOWA西新宿4階 Tokyo, (JP)</p>		特願平11/18720	1999年1月27日(27.01.99)	JP	特願平11/144701	1999年5月25日(25.05.99)	JP	<p>(81) 指定国 KR, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
特願平11/18720	1999年1月27日(27.01.99)	JP						
特願平11/144701	1999年5月25日(25.05.99)	JP						
<p>(54)Title: CONTROLLED MAGNETIC BEARING DEVICE</p> <p>(54)発明の名称 制御形磁気軸受装置</p> <div data-bbox="581 1251 1062 1608" data-label="Diagram"> </div> <p>(57) Abstract</p> <p>A controlled magnetic bearing device capable of floating and supporting a rotary body stably by generating a control signal on the basis of a sensor signal coming from a displacement sensor for detecting radial displacement of the rotary body to suppress the whirling of the rotary body caused by an external force synchronized with the rotation. The controlled magnetic bearing device comprises a displacement sensor for detecting radial displacement of a rotary body, a first control unit for operating and outputting a first control signal on the basis of a sensor signal from the displacement sensor, a second control unit disposed parallel to the first control unit so as to receive the sensor signal and to generate and output a second control signal having a phase changed from that of the sensor signal, a signal synthesizer for generating a control signal by adding the second control signal to the first control signal and for outputting the generated control signal to a power amplifier, the power amplifier for driving an electric current on the basis of the control signal, and an electromagnet for generating a magnetic force by making use of a signal coming from the power amplifier.</p>								

(57)要約

本発明は、回転体のラジアル方向の変位を検出する変位センサからのセンサ信号に基づいて制御信号を発生させ、回転運動に同期した外力による回転体の振れ回りを抑制して、回転体を安定に浮上支持できるようにした制御形磁気軸受装置を提供する。回転体のラジアル方向の変位を検出する変位センサと、該変位センサからのセンサ信号に基づき第一の制御信号を演算し出力する第一の制御ユニットと、該第一の制御ユニットと並列に配置され、前記センサ信号を導入して該センサ信号からその位相を変化させた第二の制御信号を生成し出力する第二の制御ユニットと、該第二の制御ユニットから出力された第二の制御信号を前記第一の制御ユニットから出力された第一の制御信号に加えて制御信号を生成し前記パワーアンプに出力する信号合成器と、該制御信号に基づき電流を駆動するパワーアンプと、該パワーアンプからの信号で磁気力を発生する電磁石とを備えている。

PCTに基づいて公開される国際出願のパブリック第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AG アンティグア・バーブーダ	DZ アルジェリア	LC セントルシア	SD スーダン
AL アルバニア	EE エストニア	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AM アルメニア	ES スペイン	LK スリ・ランカ	SG シンガポール
AT オーストリア	FI フィンランド	LR リベリア	SI スロヴェニア
AU オーストラリア	FR フランス	LS レソト	SK スロヴァキア
AZ アゼルバイジャン	GA ガボン	LT リトアニア	SL シェラ・レオネ
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LU ルクセンブルグ	SN セネガル
BB バルバドス	GD グレナダ	LV ラトヴィア	SZ スワジランド
BE ベルギー	GE グルジア	MA モロッコ	TD チャード
BF ブルキナ・ファソ	GH ガーナ	MC モナコ	TG トーゴ
BG ブルガリア	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BJ ベナン	GN ギニア	MG マダガスカル	TM トルクメニスタン
BR ブラジル	GR ギリシャ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR トルコ
BY ベラルーシ	GW ギニア・ビサウ	共和国	TT トリニダード・トバゴ
CA カナダ	HR クロアチア	ML マリ	TZ タンザニア
CF 中央アフリカ	HU ハンガリー	MN モンゴル	UA ウクライナ
CG コンゴ	ID インドネシア	MR モーリタニア	UG ウガンダ
CH スイス	IE アイルランド	MW マラウイ	US 米国
CI コートジボアール	IL イスラエル	MX メキシコ	UZ ウズベキスタン
CM カメルーン	IN インド	MZ モザンビーク	VN ヴェトナム
CN 中国	IS アイスランド	NE ニジェール	YU ユーゴスラヴィア
CR コスタ・リカ	IT イタリア	NL オランダ	ZA 南アフリカ共和国
CU キューバ	JP 日本	NO ノールウェー	ZW ジンバブエ
CY キプロス	KE ケニア	NZ ニュー・ジーランド	
CZ チェッコ	KG キルギスタン	PL ポーランド	
DE ドイツ	KP 北朝鮮	PT ポルトガル	
DK デンマーク	KR 韓国	RO ルーマニア	

明 細 書

制御形磁気軸受装置

技術分野

本発明は、回転体の支持手段として磁気軸受を使用した装置の該磁気軸受の制御装置に係り、特にアンバランスな回転体の振れ回り運動に対する振動振幅を小さく抑えるのに好適な制御形磁気軸受装置に関する。

背景技術

図1は、フィードバック制御系を備えた従来の一般的な制御形磁気軸受装置の基本的な構成を示す。ここでは、理解し易くするために、回転軸1のラジアル方向を支持する軸受装置の一部分を抜き出し、回転軸1に直交するX-Y軸平面（横断面）のX軸方向に沿った回転体1の振動振幅を制御するようにした例について説明する。つまり、図示では、回転体1の軸心を中心に横軸にX軸、縦軸にY軸をとり、X軸上に回転体1を挟むように変位センサ2a、2bと電磁石3a、3bを配置して、変位センサ2a、2bのセンサ信号を基に電磁石3a、3bに供給する電流を制御するようにしているが、Y軸上の回転体1を挟む位置にも電磁石及び変位センサが同様に配置されて、同様に制御される。

図1に示すように、X軸上の回転軸1を挟む位置に配置されて回転軸1のラジアル方向の変位を検知する変位センサ2a、2bはセンサアンプ4と繋がっており、これらの変位センサ2a、2bとセンサアンプ4で変位センサユニットが構成されている。センサアンプ4の出力信号は、回転体1のX軸方向に沿った変位に相当した電気信号（センサ信号）である。このセンサ信号は、回転体1を所望の浮上位置に保持するための

補償信号を形成する第一の制御ユニット5へ入力される。

第一の制御ユニット5は、センサ信号に基づき第一の制御信号を演算し制御電流として出力するもので、この制御信号（制御電流）は、各電磁石3a, 3bに個別に接続されたパワーアンプ6a, 6bで増幅されて各電磁石3a, 3bのコイルにそれぞれ供給される。これにより、各電磁石3a, 3bでは、これらの各コイルに供給された電流により電磁力が発生し、この電磁力で回転体1が電磁石3a, 3bに磁気吸引される。このように回転体1のX軸方向に沿った変位に応じて、X軸上に対向して配置された一对の電磁石3a, 3bに制御電流を供給し、その吸引力によって回転体1が中心位置又は目標位置に浮上保持するようにサーボ制御する。

ところで、磁気軸受の適用が広汎になるにつれて、その構造や大きさ等の制約から下記のような問題に直面することがある。

例えば、不釣り合い量が大きな回転体を磁気軸受でラジアル方向に支持して回転させると、回転体が偏心して回転する、いわゆる振れ回りを起こす場合がある。このような場合に、回転体の偏心量が大きくなると、回転体の振れ回り範囲が磁気軸受のタッチダウン隙間に収まらず、その結果、回転体の非接触浮上支持が行えずに装置の損傷に繋がる恐れがある。

また、回転体の浮上位置がモータステータに対して該モータステータの磁氣的中心に位置しない場合に、回転体には、モータの回転運動に同期した外力が作用する。特に、例えば送風機などの回転により仕事をす機械の場合には、回転速度の上昇に伴う負荷の増加によりモータ出力を大きくする必要があり、回転運動に同期した外力が大きく作用する。その結果、回転体が大きく振れ回り、程度によってはタッチダウンに繋がってしまう。

更に、モータが回転運動に同期したラジアル方向の電磁力を発生する場合には、回転体の浮上位置にかかわらず、回転体に外力として作用する力が大きな負担になる。このような場合にも、前記と同様に、回転体は大きく振れ回り、程度によってはタッチダウンに繋がってしまう。

いずれも、外力に対して十分な制御力を発生できる軸受を適用すれば問題は解決する。しかしながら、磁気軸受の剛性が転がり軸受や滑り軸受に比べて小さいことから、磁気軸受で転がり軸受や滑り軸受と同等の剛性を持たせることは困難である。例えば、1平方センチメートルの面積が対向する空間に、1テスラの磁束密度を発生させた場合の吸引力は、 $Maxwell$ の応力の式が示す通り約40ニュートンである。制御形磁気軸受の場合、磁束密度は、一般に0.5テスラ程度であるから約10ニュートンしか得られないことになる。

このため、最近では、回転体の回転運動に同期した外力を推定し、この外力を相殺する制御信号を加算してパワーアンプに入力することで、回転体の振れ回りを抑制するフィード・フォワード制御が試みられている。また、既知の外力に対して、回転体の回転速度に同期した正弦波や三角波信号を加算してパワーアンプに入力することで、振れ回りを制御するオープンバランス制御が知られている。これらの制御にあっては、いずれの場合も、図1に示す回転体1を挟んで配置される変位センサ2a, 2bからのセンサ信号の他に、この回転体1の軸方向に沿った変位を検知する変位センサからのセンサ信号や、回転体1の回転運動に同期したパルス信号などを必要とする。

発明の開示

本発明は上述した事情に鑑みて為されたもので、回転体のラジアル方向の変位を検出する変位センサからのセンサ信号に基づいて制御信号を

発生させ、回転運動に同期した外力による回転体の振れ回りを抑制して、回転体を安定に浮上支持できるようにした制御形磁気軸受装置を提供することを目的とする。

なお、既存のモータコントローラから得られる回転速度に比例した電圧信号は、制御信号をパワーアンプへ入力する手前の信号スイッチのオン・オフ用、或いは回転速度成分抽出フィルタの動作用として使用される。

請求項 1 に記載の発明は、回転体のラジアル方向の変位を検出する変位センサと、該変位センサからのセンサ信号に基づき第一の制御信号を演算し出力する第一の制御ユニットと、該第一の制御信号に基づき電流を駆動するパワーアンプと、該パワーアンプからの信号で磁気力を発生する電磁石とを備えた回転体をラジアル方向に支持する制御形磁気軸受装置において、前記第一の制御ユニットと並列に配置され、前記センサ信号を導入して該センサ信号からその位相を変化させた第二の制御信号を生成し出力する第二の制御ユニットと、前記第二の制御ユニットから出力された第二の制御信号を前記第一の制御ユニットから出力された第一の制御信号に加えて制御信号を生成し前記パワーアンプに出力する信号合成器とを備えたことを特徴とする。

前記第二の制御ユニットにおける位相の変化量は、磁気軸受の外力／変位の伝達特性から、前記回転体の振れ回りを抑制するのに好適な値に設定されることが好ましい。

これにより、回転体に振れ回りがあると、変位センサにこの振れ回りに対応した信号が現れる。従って、この信号に対応させて、磁気軸受の制御特性から振れ回りに作用する外力に対して反対方向の制御力を作用させることで、振れ回りを小さくすることができる。この制御力は磁気軸受の制御特性から、センサ信号に対して適当量の位相を調整すること

によって与えられる。特に、磁気軸受の外力／変位の伝達特性から、回転体の振れ回りの抑制に好適な位相の変化量が得られる。即ち、従来のサーボ制御の構成でのパワーアンプの入力信号に対する変位センサのセンサ信号の伝達特性（利得、位相）データを参考にして、第二の制御ユニット内の位相調整器の設定値を決定し、得られた第二の制御ユニット出力信号を第一の制御ユニット出力信号に加えて、パワーアンプユニットに入力して電磁石の電流を制御することで、回転体の振れ回りを小さくすることができる。

請求項 3 に記載の発明は、前記第二の制御ユニットは、前記センサ信号から回転周波数成分を抽出するフィルタと、該フィルタの出力信号の位相を調整する位相調整器と、該位相調整器の出力信号と基準電位とを比較するコンパレータを含む信号形成器と、該信号形成器の出力信号の振幅を調整するゲイン調整器とを有することを特徴とする。これにより、変位センサからのセンサ信号のうち振幅に関する情報を切り離して、位相に関する情報のみを取り出して所望の位相量を変化させると共に任意のゲインを与えることができ、これにより回転体の振れ回りの抑制に好適な電磁石の制御力を得ることができる。ここで、前記ゲイン調整器として、回転速度に比例したゲインを与えるような回転速度比例ゲイン調整器を使用することが好ましい。

請求項 5 に記載の発明は、前記第二の制御ユニットは、可変周波数フィルタと、モータ回転速度に対応した回転体の振れ回りの抑制に好適な位相の変化量を与える手段とを有することを特徴とする。これにより、可変周波数フィルタによるモータ回転速度に対応したセンサ信号を取り出し、その取り出した信号に対して回転体の振れ回りの抑制に好適な位相の変化量を与えることで、任意の回転速度に対して適当な位相量の調整を行うことができる。従って、広い回転速度範囲で回転体の振れ回り

を小さくすることができる。

前記モータ回転速度に対応した回転体の振れ回りの抑制に好適な位相の変化量を与える手段は、前記磁気軸受の外力／変位の伝達特性データを計測し回転速度に対応させて記憶した記憶器と、該記憶器から読み出して位相を調整するようにした位相調整器とを有することが好ましい。また、前記モータ回転速度に対応した位相の変化量を前記磁気軸受の外力／変位の伝達特性を近似させた演算回路を用いて設定するようにしても良い。

請求項 8 に記載の発明は、前記第二の制御ユニット内の信号の流れをオン・オフする信号スイッチと、前記センサ信号と基準信号とを比較し、該比較した結果により前記信号スイッチをオン・オフする第三の制御ユニットとを更に備えたことを特徴とする。

請求項 9 に記載の発明は、前記第二の制御ユニット内の信号の流れをオン・オフする信号スイッチと、実回転速度信号と基準信号を比較する比較器と、前記信号スイッチをオン・オフする指令信号を発生する信号発生器とを含む第四の制御ユニットを更に備えたことを特徴とする。

これにより、回転体の振れ回りが大きい状態の時は、第二の制御ユニットよりの信号をオン状態にすることで回転体の振れ回り運動を抑制し、回転体の振れ回りが小さな場合には、第二の制御ユニットからの信号をオフすることにより、通常の第一の制御ユニットからの補償信号の生成のみで十分な回転体の浮上保持ができる。

前記第二の制御ユニットのコンパレータを含む信号形成器の後段に、第二の回転周波数成分抽出器を備えることが好ましい。これにより、第二の制御ユニットからの出力信号を矩形波からその高調波成分を除去した低次の正弦波とすることができ、高調波による雑音発生等の障害を防止することができる。

前記第二の制御ユニット内の信号スイッチをオンにする前の前記センサ出力と該信号スイッチをオンにした時の前記センサ出力とを比較して、前記ゲイン調整器のゲイン設定値を変更する指令値を出力する第五の制御ユニットを備えることが好ましい。これにより、第二の制御ユニットよりの信号をオン状態とするに際して、そのゲイン調整器のゲインを適切な値に設定することが可能となり、振れ回りの抑制に好適なゲインを与えることが可能となる。

図面の簡単な説明

図1は従来の制御形磁気軸受装置の基本的な構成を示す図である。

図2は本発明の実施の形態の制御形磁気軸受装置の基本的な構成を示す図である。

図3は図2の制御系のモデルを示すブロック図である。

図4は図2における第二の制御ユニットの構成を示す図である。

図5はバッファアンプ、周波数成分抽出器、位相調整器の回路構成例を示す図である。

図6は信号形成器及びゲイン調整器の回路構成例及び各部の信号波形を示す図である。

図7は信号形成器の変形例を示す図である。

図8は信号をオン・オフする信号スイッチを備えた第二の制御ユニットの構成例を示す図である。

図9は第三の制御ユニットの回路構成例を示す図である。

図10は第四の制御ユニットにより信号をオン・オフする制御ユニットの構成例を示す図である。

図11は第二の制御ユニット内に第二の周波数成分抽出器を備えた場合の構成例を示す図である。

図 1 2 はゲインを調整する第五の制御ユニットを備えた制御形磁気軸受装置の構成例を示す図である。

図 1 3 は広い速度範囲に対応可能な第六の制御ユニットを備えた制御形磁気軸受装置の構成例を示す図である。

図 1 4 は第六の制御ユニット内の構成例を示す図である。

図 1 5 は広い速度範囲に対応可能な位相調整器の構成例を示す図である。

図 1 6 は磁気軸受で支持されたウエハスピンドライヤの構成を示す図である。

図 1 7 はラジアル磁気軸受のサーボ制御系の力／変位の伝達特性例を示す図である。

図 1 8 はオープンバランス制御相当の試験結果を示す図であり、図 1 8 A は変位センサ出力、図 1 8 B は制御出力信号を示し、制御オフの場合を示す。

図 1 9 はオープンバランス制御相当の試験結果を示す図であり、図 1 9 A は変位センサ出力、図 1 9 B は制御出力信号を示し、制御オンの場合を示す。

図 2 0 はオープンバランス制御相当の試験結果を示す図であり、図 2 0 A は変位センサ出力、図 2 0 B は制御出力信号を示し、制御オフの場合を示す。

図 2 1 はオープンバランス制御相当の試験結果を示す図であり、図 2 1 A は変位センサ出力、図 2 1 B は制御出力信号を示し、制御オンの場合を示す。

図 2 2 は本発明の制御ユニットによる試験結果を示す図であり、図 2 2 A は変位センサ出力、図 2 2 B は制御出力信号を示し、制御オフの場合を示す。

図 2 3 は本発明による試験結果を示す図であり、図 2 3 A は変位センサ出力、図 2 3 B は制御出力信号を示し、制御オンの場合を示す。

図 2 4 は本発明による試験結果を示す図であり、X 軸及び Y 軸の制御オン時の変位センサ出力を示す図である。

図 2 5 は本発明による試験結果を示す図であり、X 軸及び Y 軸の制御オフから制御オン時の変位センサ出力を示す図である。

図 2 6 は図 2 乃至図 6 に示す制御回路のゲイン及び位相の周波数特性例を示す図である。

図 2 7 は本発明の他の実施の形態の第二の制御ユニットの構成例を示す図である。

図 2 8 は図 2 7 に示す第二の制御ユニットを用いたウエハスピンドライヤにおける、急峻な立上り／立下り、及び高速回転時の回転体の振れ回り特性の実験データを示す図である。

図 2 9 は図 2 7 に示す第二の制御ユニットを用いたウエハスピンドライヤにおける、急峻な立上り／立下り、及び高速回転時の回転体の振れ回り特性の他の実験データを示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態について、図 2 乃至図 2 9 を参照しながら説明する。なお、各図中同一符号は同一又は相当部分を示す。

図 2 は、本発明の実施の形態の制御形磁気軸受装置の基本的な構成を示すものである。なお、ここでは、前記図 1 に示す従来例と同様に、理解し易くするために、回転軸 1 のラジアル方向を支持する軸受装置の一部を抜き出し、回転軸 1 に直交する X-Y 軸平面（横断面）の X 軸方向に沿った回転体 1 の振動振幅を制御するようにした例について説明する。つまり、図示では、回転体 1 の軸心を中心に横軸に X 軸、縦軸に Y

軸をとり、X軸上に回転体1を挟むように変位センサ2a、2bと電磁石3a、3bを配置して、変位センサ2a、2bのセンサ信号を基に電磁石3a、3bに供給する電流を制御するようにしているが、Y軸上の回転体1を挟む位置にも電磁石及び変位センサが同様に配置されて、同様に制御される。

図2に示すように、X軸上の回転軸1を挟む位置に配置されて回転軸1のラジアル方向の変位を検知する変位センサ2a、2bはセンサアンプ4と繋がっており、これらの変位センサ2a、2bとセンサアンプ4で変位センサユニットが構成されている。センサアンプ4の出力信号は、回転体1のX軸方向に沿った変位に相当した電気信号（センサ信号）である。このセンサ信号は、第一の制御ユニット5と該第一の制御ユニット5に並列に配置された第二の制御ユニット7に入力される。

第一の制御ユニット5は、センサ信号に基づき第一の制御信号を演算し制御電流として出力するもので、第二の制御ユニット7は、センサ信号からその位相を変化させた第二の制御信号を生成し制御電流として出力するものである。そして、この第一及び第二の制御信号（制御電流）は、信号合成器8で合成（加算）され、この合成された制御信号が各電磁石3a、3bに個別に接続されたパワーアンプ6a、6bで増幅されて各電磁石3a、3bのコイルにそれぞれ供給される。これにより、各電磁石3a、3bでは、これらの各コイルに供給された電流によって電磁力が発生し、この電磁力で回転体1が電磁石3a、3bに磁気吸引される。このように、回転体1のラジアル方向の変位を検出する変位センサ2a、2bのセンサ信号出力のみを基に、X軸上に対向して配置された一对の電磁石3a、3bに制御電流を供給し、その吸引力によって回転体1が中心位置又は目標位置に浮上保持するようにサーボ制御する。

図3は、図2に示す制御系のセンサアンプ4、第一の制御ユニット5、

第二の制御ユニット 7、パワーアンプ 6 a, 6 b、電磁石 3 a, 3 b 及び磁気軸受をモデル化してブロック図で示したものである。ここで磁気軸受は、回転体の質量 M と磁気軸受合剛性 K_u から、図示するような関数 ($1/M S^2, K$) で最も単純な系として表現される。なお、この関数において、 S はラプラス演算子を示している。

図 4 は、第二の制御ユニット 7 の構成例を示す。第二の制御ユニット 7 は、バッファアンプ 7 a と、回転周波数成分抽出器 7 b と、位相（移相）調整器 7 c と、コンパレータを含む信号形成器 7 d と、ゲイン調整器 7 e とから構成されている。これにより、バッファアンプ 7 a で増幅したセンサ信号からフィルタである回転周波数成分抽出器 7 b で回転周波数成分を抽出し、この抽出した信号の位相を位相調整器 7 c で調整した後、その位相調整器 7 c の出力信号と基準電位とをコンパレータで比較して、0 V に対して正負方向に振れる信号を形成し、ゲイン調整器 7 e で振幅を調整した信号を信号合成器 8 に出力するようになっている。

即ち、センサ信号を回転周波数信号抽出器 7 b を通すことでモータ回転速度に対応した信号成分を抽出し、更に位相調整器 7 c で任意の位相（移相）調整量を与え、得られた信号をコンパレータを含む信号形成器 7 d で受けることにより、信号のモータ回転速度に対応した周波数と位相情報は下流に伝達されるが、振幅情報は遮断されるようになっている。なお、この信号処理が必要なため、信号形成器 7 d として、コンパレータを含むものを使用している。

図 5 は、第二の制御ユニット 7 のバッファアンプ 7 a、回転周波数成分抽出器 7 b、位相調整器 7 c の具体的な回路構成例を示す。図 7 に示すように、これらの各機器は、汎用の演算増幅器と CR 素子などで簡素に構成されている。即ち、バッファアンプ 7 a は、演算増幅器を用いたアンプであり、回転周波数成分抽出器 7 b は、演算増幅器と CR 素子と

を組み合わせたフィルタ回路である。位相調整器 7 c も同様に、演算増幅器と C R 素子とを組み合わせた回路であり、接地側に接続されたボリュームを調整することで位相量の調整ができるようになっている。

これらの回路では、変位センサ 2 a, 2 b からのセンサ信号に同期した周波数成分の正弦波が取り出され、位相調整器 7 c のボリュームを調整することで位相の調整が行われる。即ち、可変抵抗器のボリュームを調整することで、0 ~ 180 [deg] の位相調整が可能となる。

図 6 は、コンパレータを含む信号形成器 7 d とゲイン調整器 7 e の回路構成例と、各部の信号波形を示す。信号形成器 7 d は、図 6 に示すように、比較器 7 1 a, 7 1 b と符号反転を行う演算増幅器 7 2 a, 7 2 b とを組み合わせた回路であり、後述するように 0 V (接地電位) に対して + 側及び - 側に振れた出力信号を形成する。ゲイン調整器 7 e は、演算増幅器 7 2 c からなるアンプである。

位相調整器 7 c からの出力は、①に示すように正弦波であり、2 つに分岐し、一方の信号はコンパレータ 7 1 a により基準電位と比較されて、②に示すように矩形波状の波形が出力される。他方の信号は、反転器 7 2 a, コンパレータ 7 1 b に入力され、その波形が③に示すように②と反転した矩形波状の波形が得られる。そして、この波形を更に反転器 7 2 b で反転させることで、この波形が④で示すようになる。そして、これをゲイン調整器 7 e のアンプ 7 2 c で振幅を調整すると共に合成することにより、⑤に示すような接地電位を中心として上下に振れる矩形波が形成される。なお、このゲイン調整器 7 e は、図 1 に示す従来の制御装置では、電磁石を駆動する電力増幅回路内に配置されていたものを兼用している。

上述した第二の制御ユニット 7 の回路構成例から明らかなように、第二の制御ユニット 7 からは、センサ信号の周波数と位相に関する情報の

みを取り出し、その位相を調整したものが出力され、第一の制御ユニット 5 の信号に信号合成器 8 で加算される。従って、センサ信号の振幅に関する情報は下流側には伝達されない。

ここで、第二の制御ユニット 7 の回転周波数信号抽出器 7 b は、例えば、図 5 に示すアナログ回路によるバンドパスフィルタでも良く、また市販機能モジュールの電圧同調型バンドパスフィルタでもよい。この電圧同調型バンドパスフィルタは、外部からの電圧信号 0 ～ 10 (V) に対応する中心周波数に通過周波数を調整できるようにしたもので、例えば、株式会社エヌエフ回路設計ブロックのカatalog No. D98X-D16-23A2 記載の型式 VT-2BPA、ディテル株式会社のデータシート No. 85/9/5K/13.2 記載の型式 FLJ-VB 等がこれに相当する。

図 7 は、信号形成器 7 d の変形例を示す図である。図 6 に示す信号形成器 7 d がコンパレータ及び演算増幅器を数個使用しているのに対し、この例では、2 個の演算増幅器、即ち演算増幅器を使用したコンパレータ 77 と、同様に演算増幅器を使用した反転アンプ（インバータ）78 で同等の機能を有する回路を構成することができる。

ここで、コンパレータ 77 は、図 7 B 又は図 7 C に示すような入力・出力特性を有する非線形要素を用いている。このような入出力特性を有するコンパレータ 77 を用いることにより、極めて簡単な回路構成で、図 7 D に示すように、正弦波入力信号①に対して、0 ボルトを中心に正負側に振れる矩形波信号⑤を形成することができる。そして、図 6 に示す回路と同様に、センサ信号の周波数成分及び位相成分のみを下流側に伝達し、振幅成分を下流側に伝達しない構成とすることができる。

図 8 は、第二の制御ユニット 7 のゲイン調整器 7 e の後段に信号スイッチ 7 f を設け、更に第三の制御ユニット 9 を備え、センサ信号と基準

信号とを比較して、センサ信号が基準値以上の場合、即ち、振れ回りが所定値（基準値）よりも大きな場合に信号スイッチ 7 f をオンにするようにしたものである。

即ち、第二の制御ユニット 7 内の信号の流れをオン・オフする信号スイッチ 7 f と、変位センサ 2 a, 2 b のセンサ信号と基準信号とを比較して信号スイッチ 7 f をオン・オフする第三の制御ユニット 9 とを備え、センサ信号が所定の基準値以上である場合にのみ、信号スイッチ 7 f をオンとして第二の制御ユニット 7 の出力信号が第一の制御ユニット 5 の出力信号に加算されるようにしたものである。

図 9 は、第三の制御ユニット 9 の構成例を示す。第三の制御ユニット 9 は、比較器 7 3 a, 7 3 b、反転アンプ 7 4、反転器 7 5 a, 7 5 b、及び加算器 7 6 から構成される。

図 10 は、第四の制御ユニット 10 を備え、モータコントローラからの回転速度に比例した電圧信号と基準信号とを比較して、電圧信号が基準信号以上の場合に信号スイッチ 7 f をオンするようにしたものである。この第四の制御ユニット 10 は、実回転速度信号と基準信号を比較する比較器 10 a と、第二の制御ユニット 7 に設けられた信号の流れをオン・オフする信号スイッチ 7 f に対してオン・オフ指令信号を発生する信号発生器 10 b とを備えている。

これにより、図 8 に示す実施の形態が、センサ信号を基準として第二の制御ユニット 7 内の信号スイッチ 7 f のオン・オフを行っていたのに対して、この例では、モータコントローラからの回転速度信号を基準として、即ち、モータの回転速度が所定値以上に大きくなった場合に、第二の制御ユニット 7 内の信号スイッチ 7 f のオン・オフを行うことができる。

図 11 は、第二の制御ユニット 7 の構成の変形例を示す。図 11 A は、

第二の制御ユニット 7 内のゲイン調整器 7 e の後段に、回転周波数信号抽出器 7 b と同じ機能のフィルタである回転周波数成分抽出器 7 b' を備えている。これにより、矩形波状信号から回転周波数に同期した低次の正弦波状信号にすることができる。従って、矩形波信号を制御出力として、パワーアンプに入力した時よりも回転体の振れ回り抑制効果は多少低下するが、高調波成分の電流を流さないようにできるため、回転体の高次モードを励振せずにすむ。

図 1 1 B は、図 1 1 A における回転周波数成分抽出器 7 b' とゲイン調整器 7 e の位置を入れ替えたものである。同様に図 1 1 C は、図 8 に示す信号の流れをオン・オフする信号スイッチ 7 f を第二の制御ユニット 7 内に設けたものである。更に、回転速度に非同期の固有振動数をもつ外力が回転体に作用する場合は、第二の制御ユニット 7 内の回転周波数信号抽出器 7 b, 7 b' をその固有の振動数信号抽出器にすればよい。

図 1 2 は、第五の制御ユニット 1 1 を備え、センサ信号を観測し、第二の制御ユニット 7 の信号スイッチ 7 f をオンさせた時とオフ状態の時のセンサ信号の振幅を比較し、ゲイン調整器 7 e の大きさの設定をするようにしたものである。すなわち、第五の制御ユニット 1 1 は、第二の制御ユニット 7 の信号スイッチ 7 f がオフ状態にある時のセンサ出力の振幅と、信号スイッチ 7 f をオンにした時のセンサ出力の振幅とを比較して、ゲイン調整器 7 e のゲイン設定値を変更するように構成されている。これにより、モータ回転速度が所定値以上に達すると、第三の制御ユニット 9 によりスイッチ 7 f がオン状態となり、振れ回りの抑制が行われるが、ゲイン調整器 7 e に適切なゲインを設定することが可能となる。従って、振れ回りを一層効果的に抑制することができる。

図 1 3 は、第六の制御ユニット 1 2 を備え、この第六の制御ユニット 1 2 にモータコントローラからの回転速度に比例した電圧信号とセンサ

信号を入力するとともに、回転速度毎に予め位相調整値を設定しておいて、モータ回転速度に対応した位相調整量を位相調整器 7 c に設定するようにしたものである。この時、回転周波数成分抽出器 7 b として、電圧値を変化することで周波数を変化させることができるフィルタ回路を用いる。これによりモータ回転速度に対応した周波数成分の抽出が可能である。

図 1 4 は、従来のサーボ制御構成でのパワーアンプ入力信号に対する変位センサ出力信号の伝達特性（利得、位相）データを計測して記憶する記憶器を第六の制御ユニット 1 2 に内蔵し、モータ回転速度に対応した位相調整量を記憶したデータから読み出して位相調整器 7 c に位相調整量として設定するようにしたものである。これにより、任意のモータ回転速度に対してそれぞれに対応した位相の変化量を付与することができ、低速から高速に至る全領域に対して振れ回りの抑制が可能となる。

図 1 5 は、第六の制御ユニット 1 2 の変形例を示すものである。図 1 4 に示す第六の制御ユニットが磁気軸受の伝達特性のデータを記憶器に内蔵しているのに対し、図 1 5 に示す第六の制御ユニットは、磁気軸受の伝達特性をアナログ回路で模擬したものである。つまり、図 1 5 A に示すように、演算増幅器と C R 素子とからなる一次フィルタ回路を 2 段用いて、図 1 5 B のゲイン特性及び図 1 5 C の位相特性を形成している。

ここでキャパシタ素子 C' は広域ゲインを落とし、演算増幅器の動作を安定化させるためのものである。また、この回路構成は通常の P I D 制御の微分要素（位相進み回路）としても一般に使用されているものである。この図 1 5 B 及び図 1 5 C に示す特性は、後述の図 1 7 に示す磁気軸受の伝達特性を模擬したものである。そして、例えば 5 0 H z に対して約 9 0 ~ 1 0 0 deg 程度の位相の変化量を、2 5 H z では約 6 5 deg 程度の位相の変化量を与えることができる。そしてこの範囲において図

示するようにゲインは殆ど平坦である。

以下に実機を用いて、上記各制御装置を動作させた結果について説明する。

図16は、磁気軸受で支持されたモータ本体の構造例として、磁気浮上式スピンドライヤの試作機を示す。以下に述べる検証実験は、図中のラジアル磁気軸受32を使用している。この機械は、回転軸15がアキシヤル磁気軸受33及びラジアル磁気軸受32によりそれぞれアキシヤル方向及びラジアル方向に支持されており、モータ31により回転駆動される。下側に位置するウエハホルダ35に25枚の8インチウエハを搭載する。ウエハWは、外周を2本の固定バーと脱着可能な可動バー1本の計3本の梁で支持されている。そのため、ウエハの位置ずれによる不釣り合い量と梁の変形による不釣り合い量が作用するものである。

図17は、一つのラジアル磁気軸受のサーボ制御系の特性（パワーアンプ入力に対する変位センサ出力応答）の実測例を示す。これは、外乱として回転体に作用する外力（ R ）とこれに対応した回転体の変位（ S ）に対する比 R/S に対応している。即ち、分母を変位センサのセンサ信号（ S ）、分子を計測のためにパワーアンプ入力信号に加算した信号（ R ）とし、横軸を周波数軸、縦軸に利得（ゲイン）と位相（フェイズ）を記している。

このゲイン特性に既知である変位センサ感度を定数： K_s （ V/m ）、パワーアンプゲイン： K_d （ A/V ）、電磁石ゲイン： K_c （ N/A ）をかけると（図3を参照）、磁気軸受剛性の周波数特性相当になる（但し、実際には、それぞれの周波数応答があるため厳密ではない）。

実際にスピンドライヤとして運転される周波数範囲は、 $0 \sim 50 \text{ Hz}$ （ $0 \sim 3000 \text{ min}^{-1}$ ）であり、位相特性としては、 50 Hz で 108 deg 、 25 Hz で 65 deg 程度の値となっていることが判る。

ここで注目したいのは、位相特性、即ち、回転動作周波数における位相情報である。この位相情報が、第二の制御ユニット内の位相調整器に設定する調整量の元になる。

なお、パワーアンプの入力電圧（V）に対する出力電流（A）には非線型性があり、入力電圧が大きくなると、利得と位相で示す周波数応答が顕著に劣化する場合がある。つまり、回転体の振れ回り振幅が大きくなっている時は、図17に示す位相特性にパワーアンプの周波数応答劣化分を補正する必要がある。また、第二の制御ユニットの出力信号がパワーアンプに入力されて、最終的に力として回転体に作用するまでの周波数特性を同じく考慮する必要もある。ただし、比較的低い周波数ではさほどの影響はなく、先の位相特性値相当の値を使用すればよい。実験の結果によれば、補正量は概略値でも得られる効果は同等であった。

図18乃至図21は従来のオープンバランス制御相当の試験をした結果を示す。この試験の目的は、加え合わせる制御信号とセンサ信号との位相差が、図17に示す磁気軸受剛性の周波数特性相当データの位相データを元に推定した値相当で効果が得られることの検証である。制御信号は、市販の信号発生器で発生させた。

図18及び図19は、回転速度 3000 min^{-1} (50 Hz) で、制御信号とセンサ信号との間に、図17に示す位相データを元に推定した値、即ち概略 108 (deg) の位相差を与えた時の状態を示す。図18は制御オフ時、図19は制御オン時の時間波形で、図18A及び図19Aは変位センサ出力信号を、図18B及び図19Bは制御信号を示す。これにより、回転速度 3000 min^{-1} (50 Hz) の時、制御信号とセンサ信号との間に概略 108 (deg) の位相差を与えると回転体の振れ回りが抑制されることが判る。

なお、図示していないが、この位相量を多少上下に変動させてみたが、

効果はさほどの変化は確認できなかった。

図 20 及び図 21 は、回転速度 1500 min^{-1} (25 Hz) で、制御信号とセンサ信号との間に、図 17 に示す位相データを元に推定した値、即ち概略 64.8 (deg) の位相差を与えた時の状態を示す。図 20 は制御オフ時、図 21 は制御オン時の時間波形で、図 20 A 及び図 21 A は変位センサ出力信号を、図 20 B 及び図 21 B は制御信号を示す。これにより、回転速度 1500 min^{-1} (25 Hz) の時、制御信号とセンサ信号との間に概略 64.8 (deg) の位相差を与えると回転体の振れ回りが抑制されることが判る。

なお、図示していないが、この位相量を多少上下に変動させてみたが、効果はさほどの変化は確認できなかった。

次に、図 2 乃至図 6 に示す制御形磁気軸受装置を使用して、回転体 1 の振れ回りの抑制作用を検証した結果を図 22 及び図 23 に示す。回転速度は 3000 min^{-1} であり、図 22 は制御オフ時、図 23 は制御オン時の時間波形で、図 22 A 及び図 23 A は変位センサ出力信号を、図 22 B 及び図 23 B は制御信号をそれぞれ示している。これにより、前記図 18 及び図 19 で示す結果と同等の結果が得られていることが判る。この実験に用いた回路の入力信号と出力信号の伝達特性を図 26 に示す。この図から、位相調整量は、 3000 min^{-1} (50 Hz) に対して約 $90 \sim 100 \text{ deg}$ の進みとなっていることが判る。

更に、不釣り合い重りを増やし、従来のサーボ制御ではタッチダウンしてしまうケースについて検証した結果を図 24 及び図 25 に示す。この場合、回転軸に直交する X-Y 軸平面の X 軸上及び Y 軸上に 2 つのサーボ制御系に、第二の制御ユニットをそれぞれ備えて実験した。回転速度は 3000 min^{-1} である。図 24 は制御オン状態を、図 25 はタッチダウンしながら回転している状態に本制御をオンした時の時間波形で、

上段にX軸変位センサ出力信号を、下段にY軸変位センサ出力信号の時間波形を示す。いずれも、振れ回りを抑える作用が確認できる。この2例の実験で用いた位相量を図17の位相データと比較すると、概略20%増しぐらいであることがわかる。更に、図12に示すように、第二の制御ユニット内のゲイン調整器の設定を調整することで、振れ回り振幅を抑制できる。作用の上限はパワーアンプの基本性能と電磁石の磁路の磁気飽和具合によって決まる。

図27乃至図29は、回転速度の変動の急峻な場合でも、本発明の回路構成によれば、図16に示すウエハスピンドライヤにおいて、回転体の振れ回りを十分に抑制できることを示している実験データである。

図27は、第二の制御ユニット17の構成例を示す。センサ信号（入力）はバッファアンプ17aで増幅され、回転速度同信号抽出器17bで回転速度に対応した信号の成分が抽出される。この抽出器17bとして、例えばNF回路設計社製の型式VT-2BPAが用いられる。そして位相調整器17cで位相の調整量が与えられる。得られた信号をコンパレータ17dで基準電圧と比較することにより、振幅情報は遮断され、モータ回転速度に対応した周波数と位相情報のみが下流側に伝達される。そしてゲイン調整器17e、17fでゲインを調整し、第一の制御ユニット5の信号出力に加算し、電磁石に制御電流を供給している。ここでゲイン調整器17eは、回転速度に無関係な固定のゲイン調整器である。また、ゲイン調整器17fは回転速度に比例したゲインを与える回転速度比例ゲイン調整器で、例えばアナログデバイス社製の型式AD633が用いられる。

図28は、回転速度がゼロから所定速度迄急峻に立ち上がり、 2400 min^{-1} 程度の高速（所定速度）で、一定時間の運転を行い、次に急峻に減速して停止する場合のウエハスピンドライヤにおける回転体の振れ

回りの状況を示している。図 28 に示すように、回転スタート時からバランス制御をオンすることにより、急峻な立ち上がり時期にも回転体の振れ回りは TD (Touch Down) レベルに対して十分な余裕があることが判る。そして、高速回転時にバランス制御をオフすると、図 28 A 及び図 28 B の変位センサ出力に示すように回転体の振れ回りは TD (Touch Down) レベルまで増大することが判る。更に、急峻な立ち下がり時においても、回転体の大きな振れ回りを生じることなく回転体の回転が停止する。

図 29 は、図 28 と同様な急峻な立ち上がり及び立ち下がり時の回転体の振れ回りの様子を示す。この場合は、 3000 min^{-1} まで回転速度を上昇させている。この場合にも、上述と同様に回転体の振れ回りは TD (Touch Down) レベルよりも十分な余裕があり、振れ回りが十分に抑制されていることが判る。この場合は、バランス制御をオフにすると、急峻な立ち上がり時に TD (Touch Down) レベルまで振れ回りが大きくなるが、はじめからバランス制御をオンしておくことにより、急峻な立ち上がり時においても変位センサ (No. 1) に示すように振れ回りが多少大きくなる程度に抑圧することができる。なお、変位センサ (No. 1) はウエハホルダに近い方のラジアル磁気軸受に設けられたセンサであり、変位センサ (No. 2) はウエハホルダから離れた側のラジアル磁気軸受に設けられたセンサである。

以上に示したように、第二の制御ユニットをそれぞれ必要な制御軸へ付加することで、1) 過大な不釣り合い量を持つ持つ回転体の支持問題、2) 回転体の浮上位置を起因とするモータからの回転運動に同期した外力の支持問題、3) モータの原理に基づく回転速度に同期したラジアル外力の支持問題、について磁気軸受の許容支持特性を改善し、回転体の振れ回りを抑制できることが判る。

例えばモータが 2 極の誘導モータであった場合、回転速度に同期した

ラジアル外力が発生する。この場合、ファンやポンプ等の回転運動により流体力を発生させる回転機械では、負荷変動に追従した回転運動を維持するために、モータへの入力電力が増加し、より過大なラジアル外力が発生する。転がり軸受や滑り軸受で支持すれば、寿命の低下こそあれ、回転体の支持不能に陥ることは考えられない。しかしながら、接触式軸受を使用できない場合も少なくなく、特殊な環境用の回転機械に磁気軸受を適用した場合には、上記問題に直面することがある。更に高速回転によってウエハ等を乾燥させるスピンドライヤにおいても、被乾燥物が起因となる不釣り合い量の大きさが、通常の磁気軸受支持剛性と比較すると過大な量である場合がある。

従来の転がり軸受や滑り軸受の支持剛性であれば別であるが、半導体装置用でウエハをバッチ処理（ $25 \times n$ 枚）するスピンドライヤでは、必要に応じて磁気軸受の採用を望まれることがあり、同じく前に述べた問題に直面することがある。このように、従来の転がり軸受などを使用していたところに、非接触支持できる磁気軸受を使用したい場合には、既に全体のスペース、軸受のスペース、回転体の構造が決まっているため、必要にして十分な大きさの磁気軸受を組込むことが難しいが、上記本発明によれば係る問題の解決が可能であり、磁気軸受の限界性能を拡大する一つの手法を提供できる。

以上に説明したように、本発明によれば、回転体の浮上位置制御に用いる変位センサ信号のみから、磁気軸受で支持された過大な不釣り合い量を有する回転体の振れ回りを抑制することができる。

また、回転速度に同期した外乱以外にも適用可能である。周期的な外乱に対して磁気軸受の剛性を高める手段として効果的である。

産業上の利用の可能性

本発明は、回転体の支持手段として磁気軸受を使用した装置の該磁気軸受の制御装置に関するものである。従って、例えば半導体装置の製造に使用される磁気浮上式スピンドライヤの回転軸を磁気浮上させて支持する磁気軸受の制御装置として使用できる。

請求の範囲

1. 回転体のラジアル方向の変位を検出する変位センサと、該変位センサからのセンサ信号に基づき第一の制御信号を演算し出力する第一の制御ユニットと、該第一の制御信号に基づき電流を駆動するパワーアンプと、該パワーアンプからの信号で磁気力を発生する電磁石とを備えた回転体をラジアル方向に支持する制御形磁気軸受装置において、

前記第一の制御ユニットと並列に配置され、前記センサ信号を導入して該センサ信号からその位相を変化させた第二の制御信号を生成し出力する第二の制御ユニットと、

前記第二の制御ユニットから出力された第二の制御信号を前記第一の制御ユニットから出力された第一の制御信号に加えて制御信号を生成し前記パワーアンプに出力する信号合成器とを備えたことを特徴とする制御形磁気軸受装置。

2. 前記第二の制御ユニットにおける位相の変化量は、磁気軸受の外力／変位の伝達特性から、前記回転体の振れ回りを抑制するのに好適な値に設定されることを特徴とする請求項 1 に記載の制御形磁気軸受装置。

3. 前記第二の制御ユニットは、

前記センサ信号から回転周波数成分を抽出するフィルタと、

該フィルタの出力信号の位相を調整する位相調整器と、

該位相調整器の出力信号と基準電位とを比較するコンパレータを含む信号形成器と、

該信号形成器の出力信号の振幅を調整するゲイン調整器とを有することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の制御形磁気軸受装置。

4. 前記ゲイン調整器として、回転速度に比例したゲインを与えるような回転速度比例ゲイン調整器を使用したことを特徴とする請求項3に記載の制御形磁気軸受装置。

5. 前記第二の制御ユニットは、
可変周波数フィルタと、

モータ回転速度に対応した回転体の振れ回りの抑制に好適な位相の変化量を与える手段とを有することを特徴とする請求項1又は2に記載の制御形磁気軸受装置。

6. 前記モータ回転速度に対応した回転体の振れ回りの抑制に好適な位相の変化量を与える手段は、

前記磁気軸受の外力／変位の伝達特性データを計測し回転速度に対応させて記憶した記憶器と、

該記憶器から読み出して位相を調整するようにした位相調整器とを有することを特徴とする請求項5に記載の制御形磁気軸受装置。

7. 前記モータ回転速度に対応した位相の変化量は、前記磁気軸受の外力／変位の伝達特性を近似させた演算回路を用いて設定されることを特徴とする請求項5に記載の制御形磁気軸受装置。

8. 請求項1乃至7のいずれかに記載の制御形磁気軸受装置において、
前記第二の制御ユニット内の信号の流れをオン・オフする信号スイッチと、

前記センサ信号と基準信号とを比較し、該比較した結果により前記信号スイッチをオン・オフする第三の制御ユニットとを更に備えたことを特徴とする制御形磁気軸受装置。

9. 請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の制御形磁気軸受装置において、
前記第二の制御ユニット内の信号の流れをオン・オフする信号スイッチと、

実回転速度信号と基準信号を比較する比較器と、

前記信号スイッチをオン・オフする指令信号を発生する信号発生器と
を含む第四の制御ユニットを更に備えたことを特徴とする制御形磁気軸
受装置。

10. 請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の制御形磁気軸受装置において、
前記第二の制御ユニットのコンパレータを含む信号形成器の後段に、
第二の回転周波数成分抽出器を備えたことを特徴とする制御形磁気軸受
装置。

11. 請求項 8 又は 9 に記載の制御形磁気軸受装置において、
前記第二の制御ユニット内の信号スイッチをオンにする前の前記セン
サ出力と該信号スイッチをオンにした時の前記センサ出力とを比較して、
前記ゲイン調整器のゲイン設定値を変更する指令値を出力する第五の制
御ユニットを備えたことを特徴とする制御形磁気軸受装置。

1/25

FIG. 1

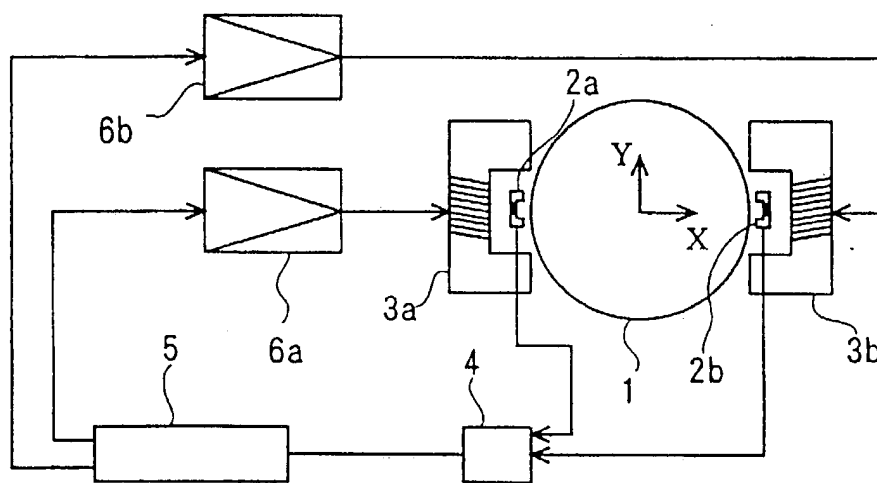
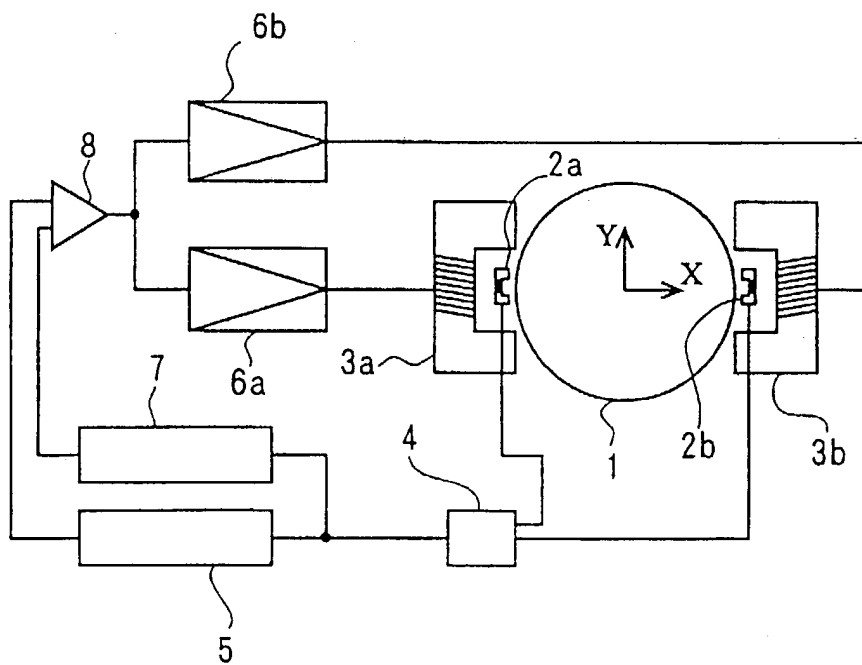


FIG. 2



2/25

FIG. 3

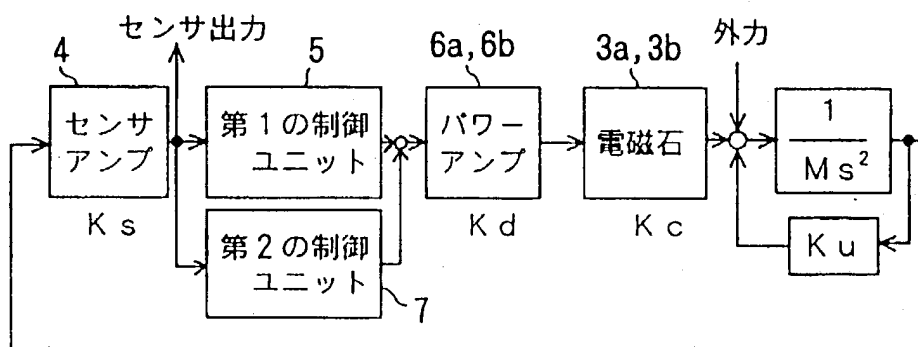
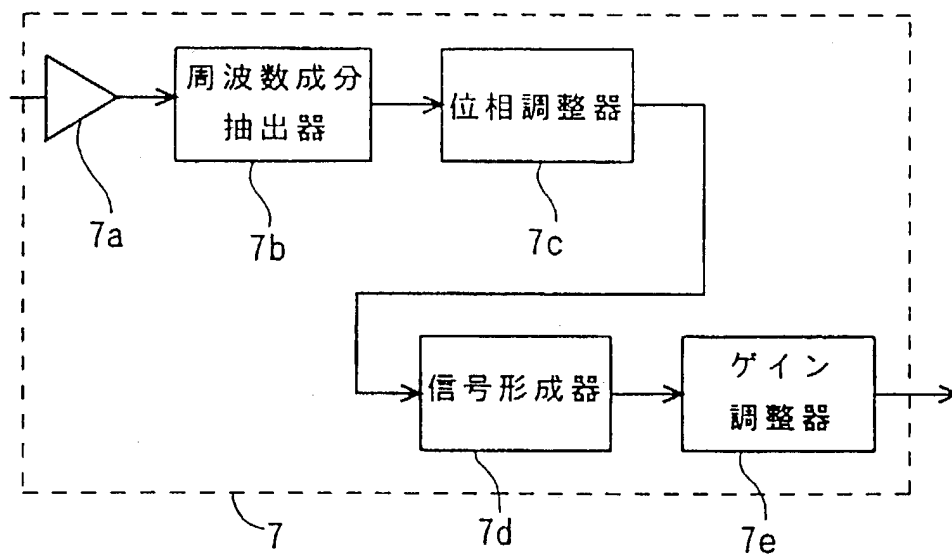
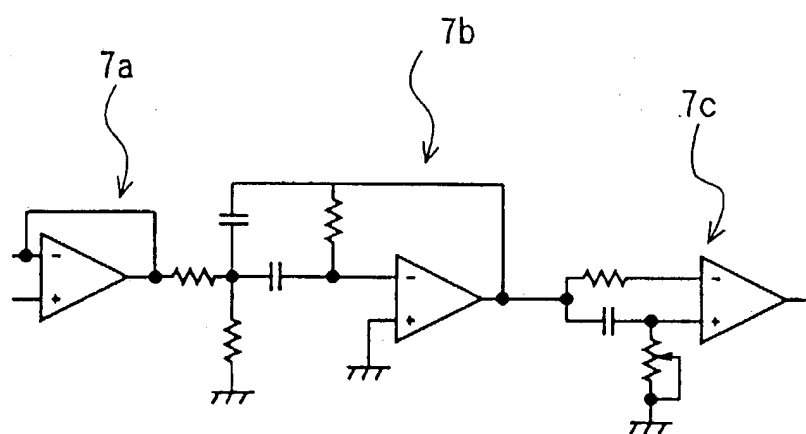


FIG. 4



3/25

FIG. 5



5/25

FIG. 7A

信号形成器

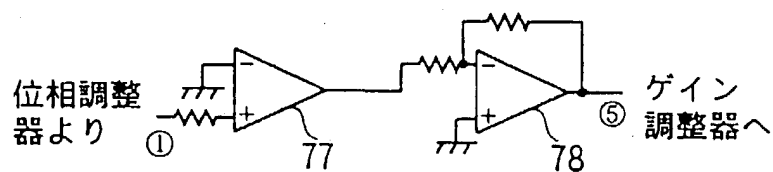


FIG. 7B

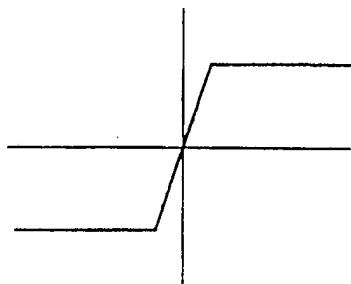


FIG. 7C

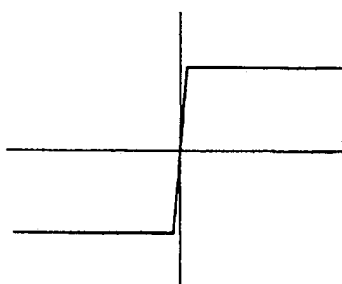
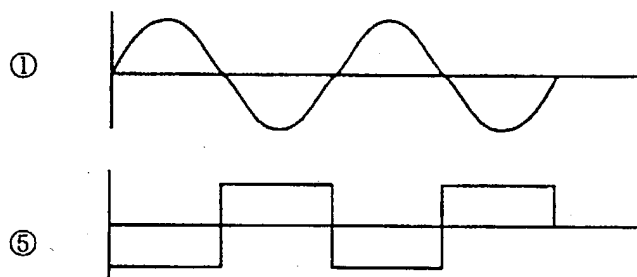


FIG. 7D



6/25

FIG. 8

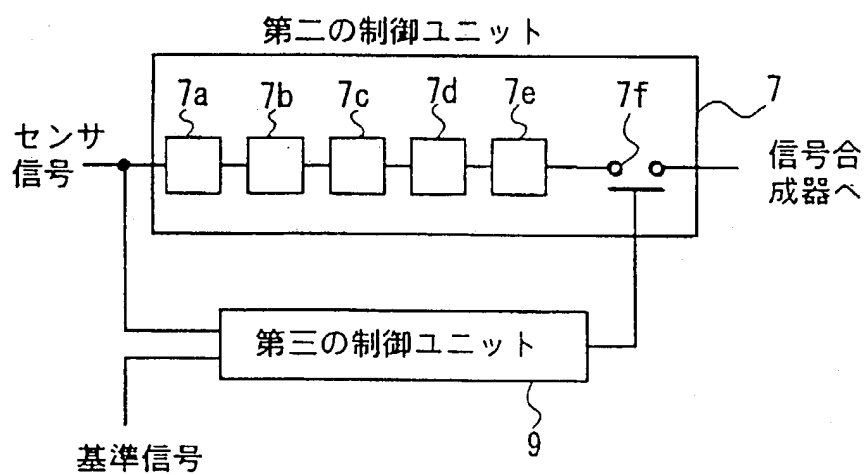
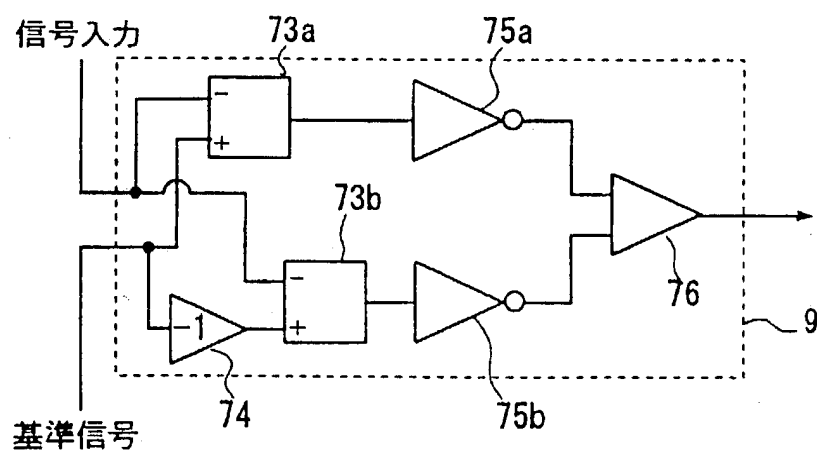
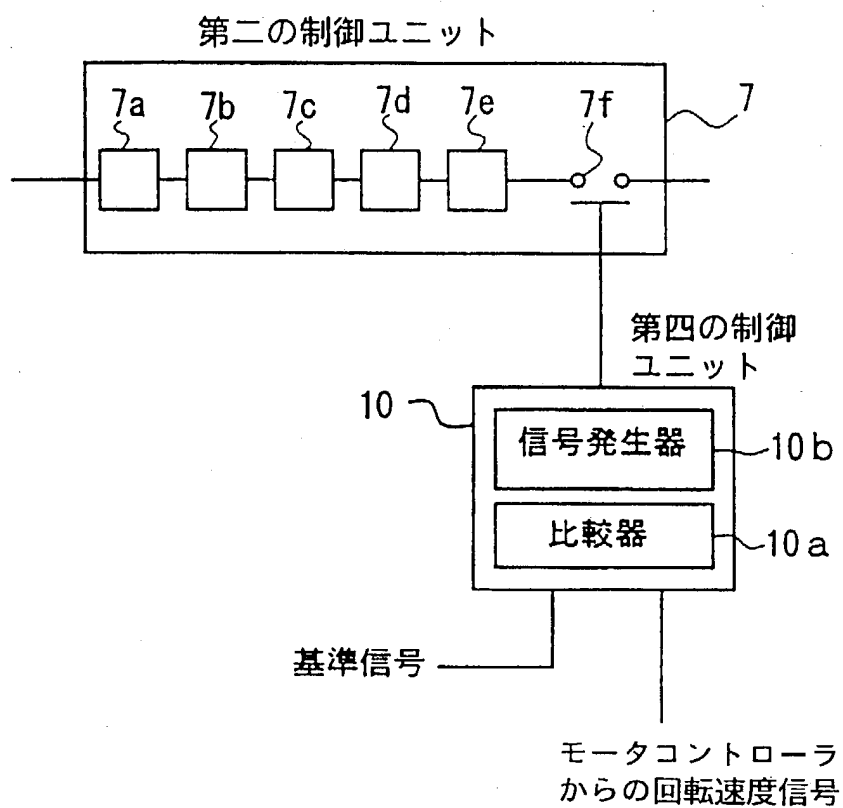


FIG. 9



7/25

FIG. 10



8/25

FIG. 11A

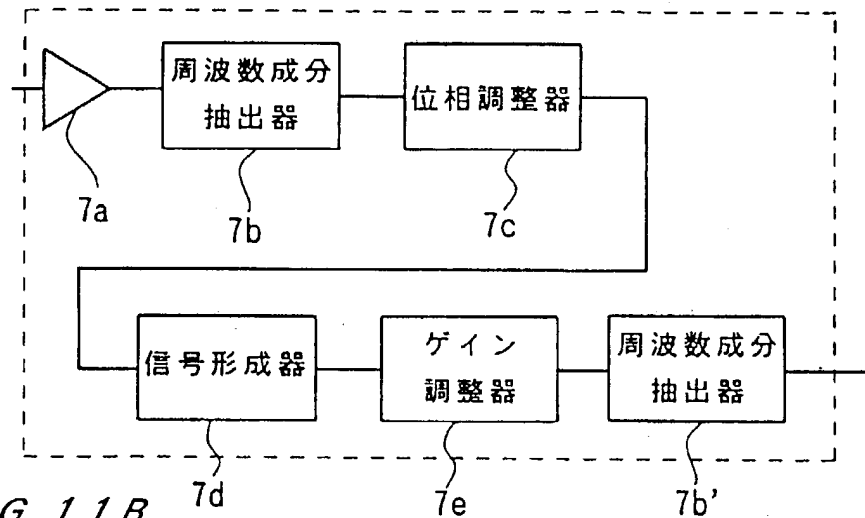


FIG. 11B

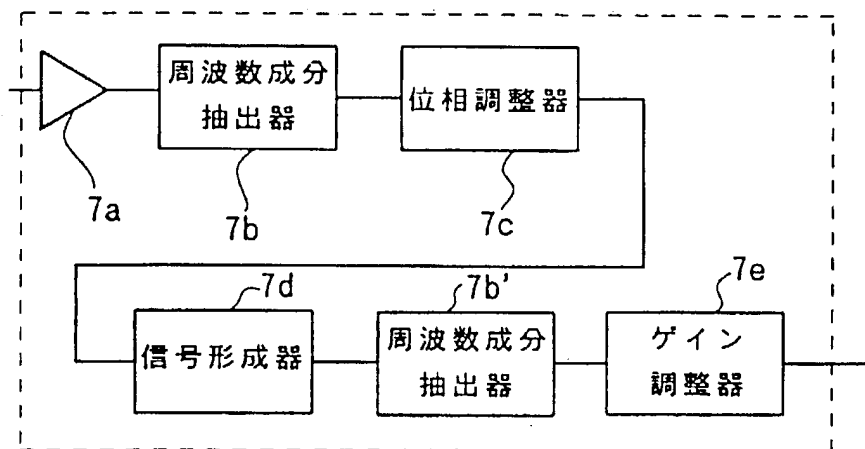
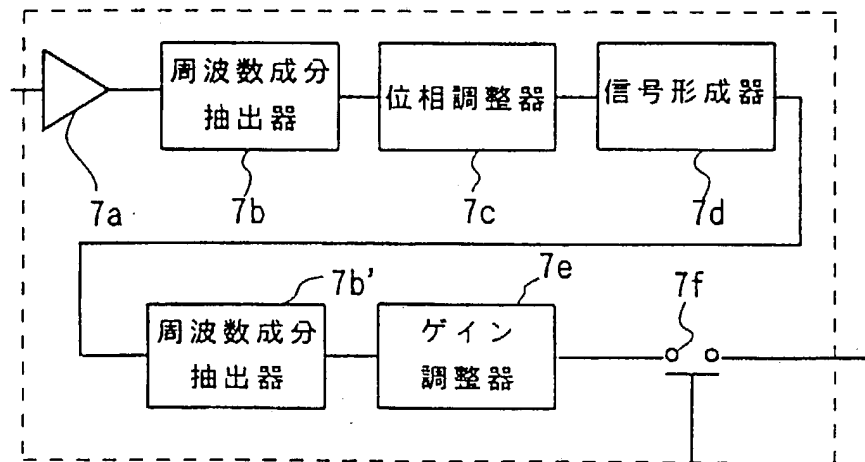


FIG. 11C



9/25

FIG. 12

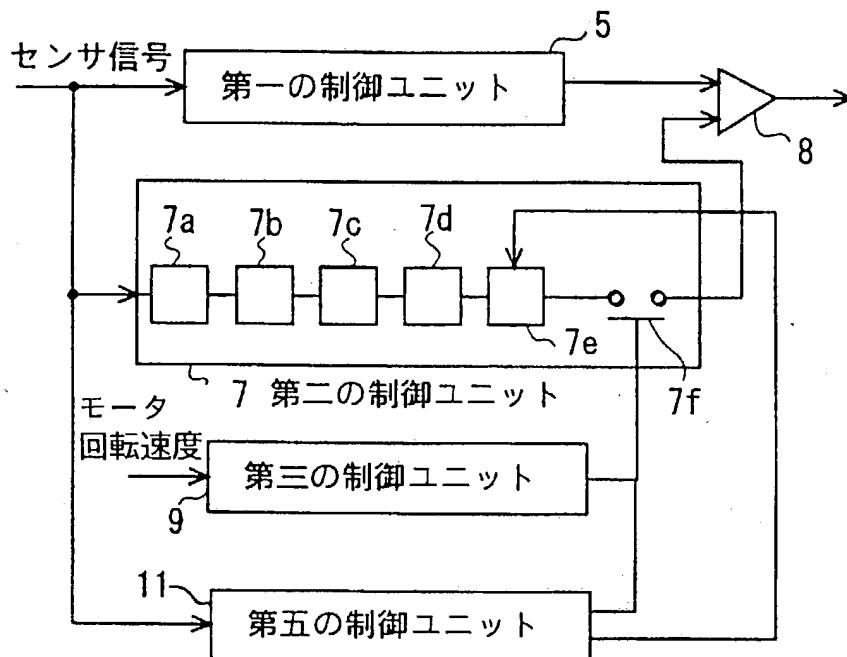
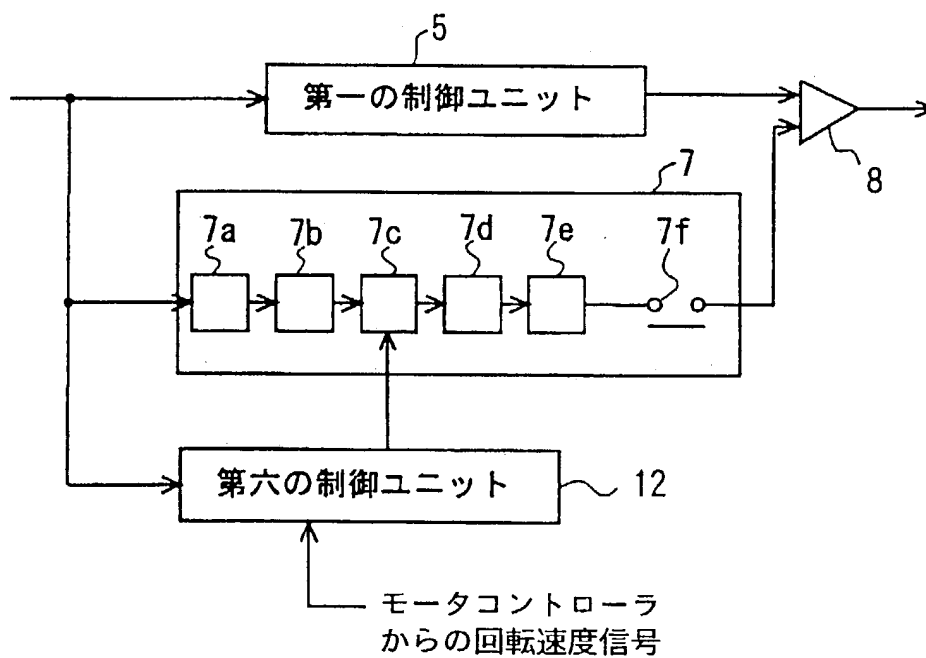
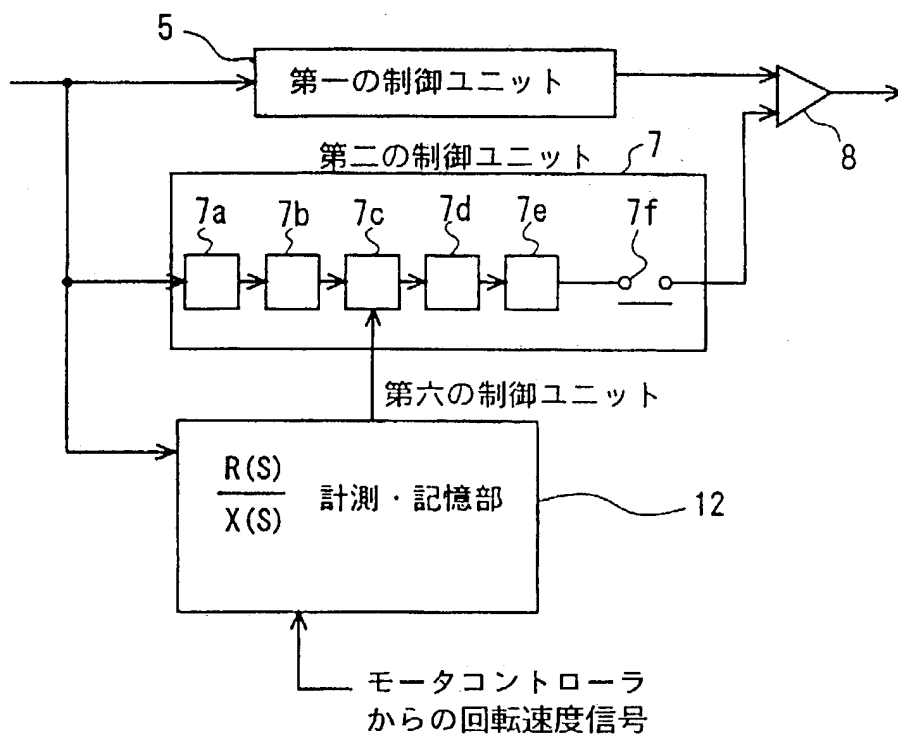


FIG. 13



10/25

FIG. 14



11/25

FIG. 15A

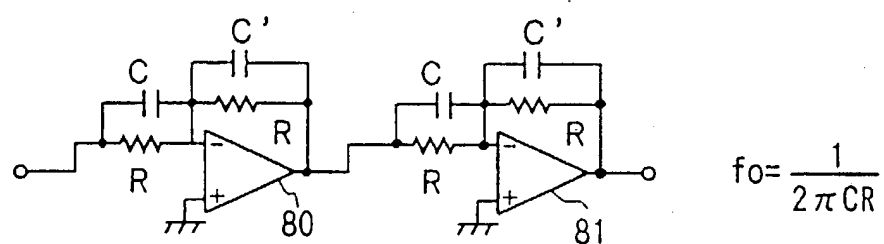


FIG. 15B

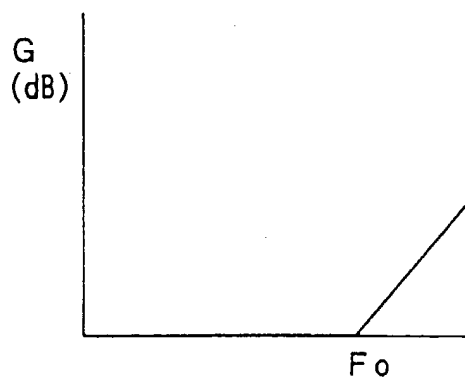
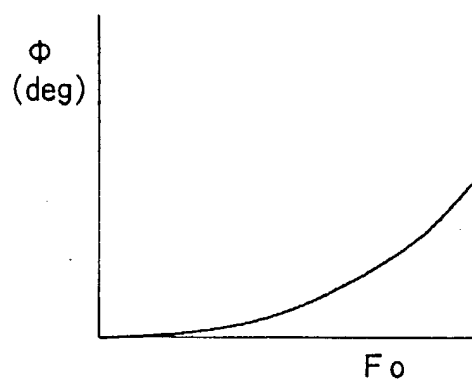
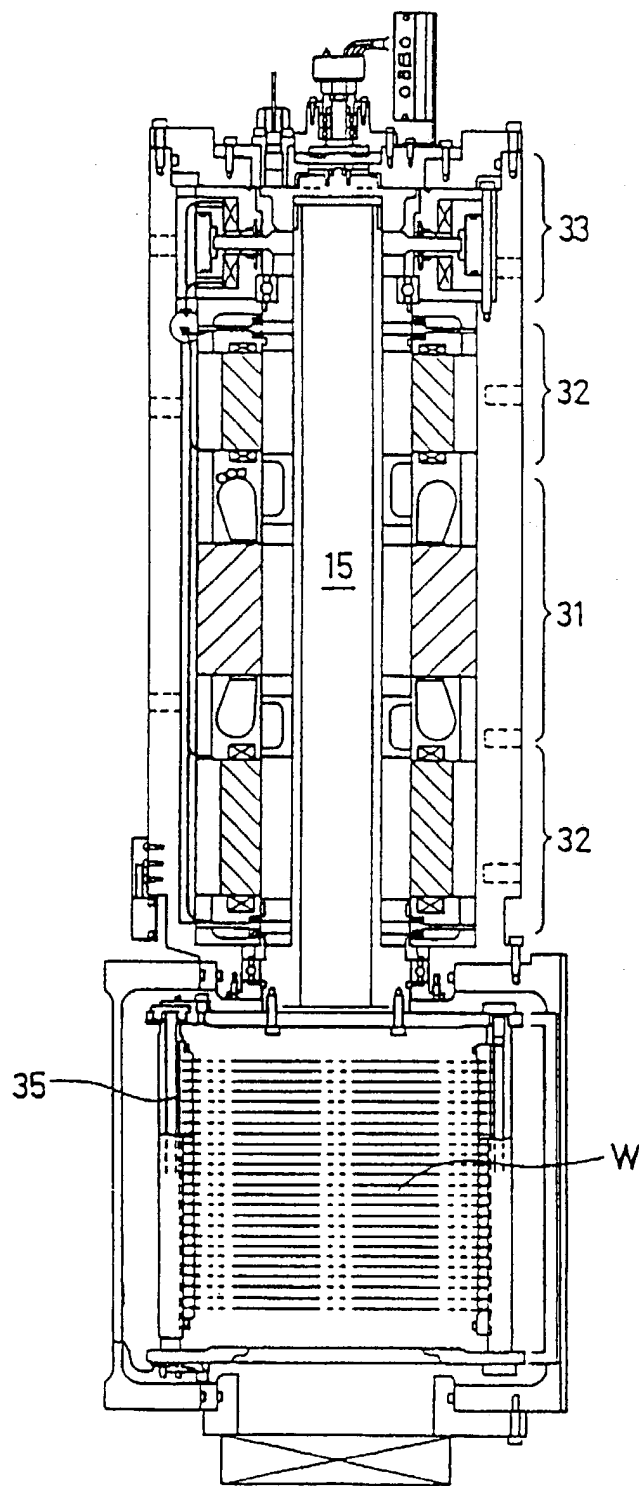


FIG. 15C



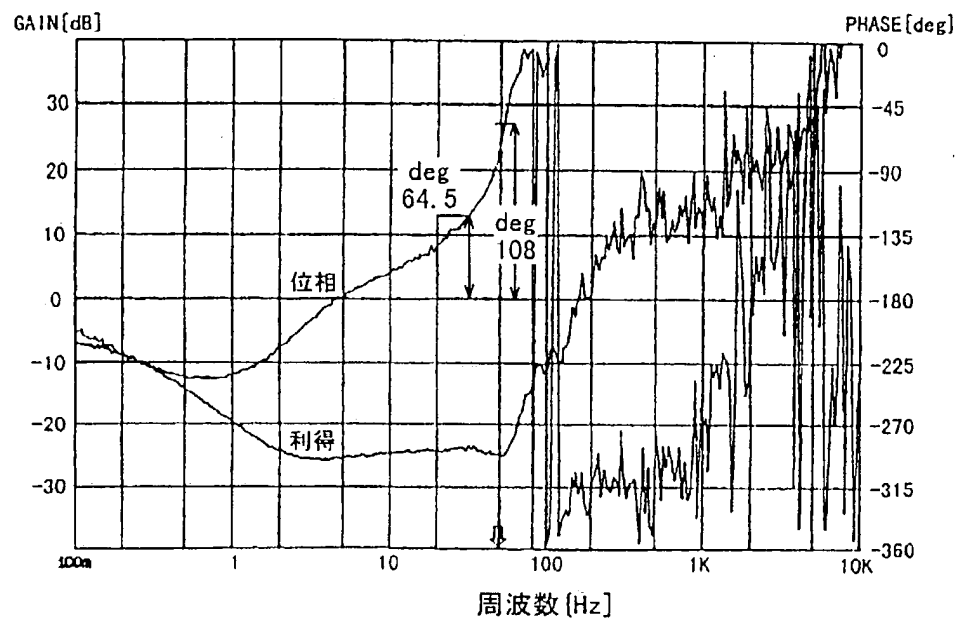
12/25

FIG. 16



13/25

FIG. 17



14/25

FIG. 18A

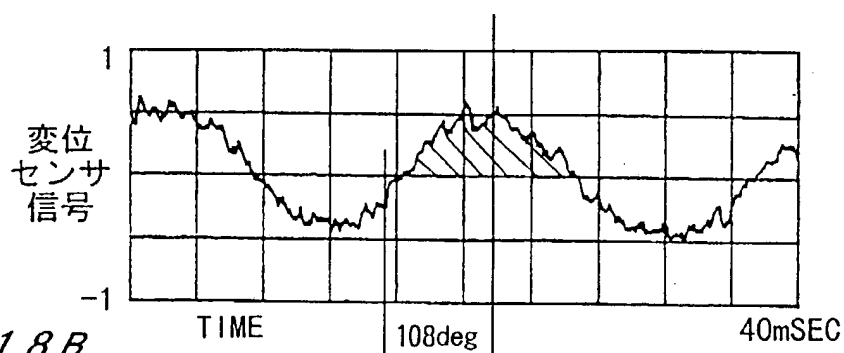
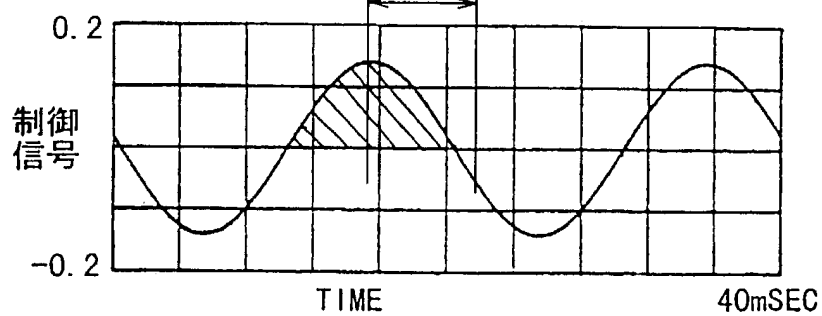


FIG. 18B



15/25

FIG. 19A

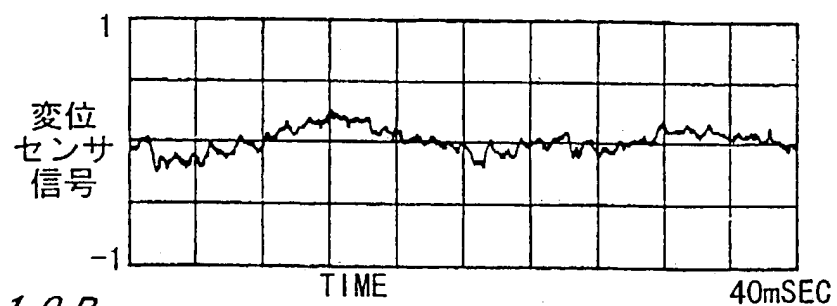
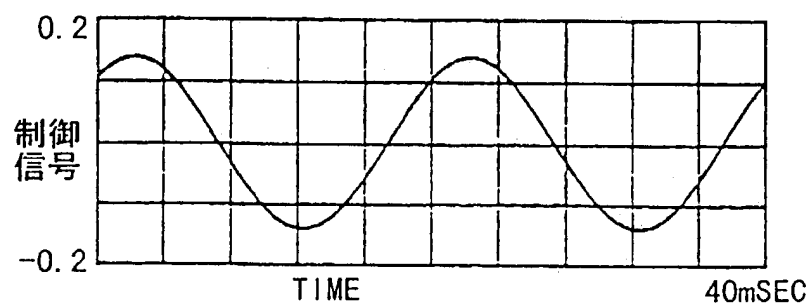


FIG. 19B



16/25

FIG. 20A

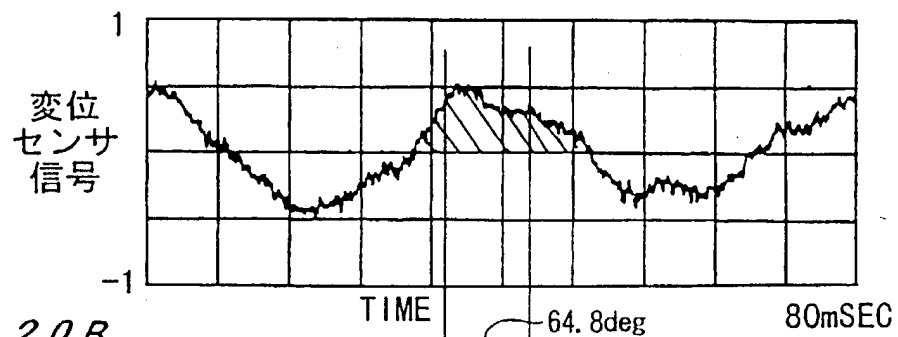
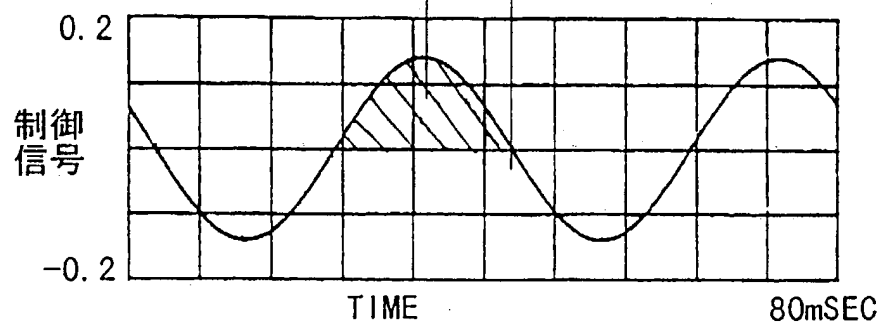


FIG. 20B



17/25

FIG. 21A

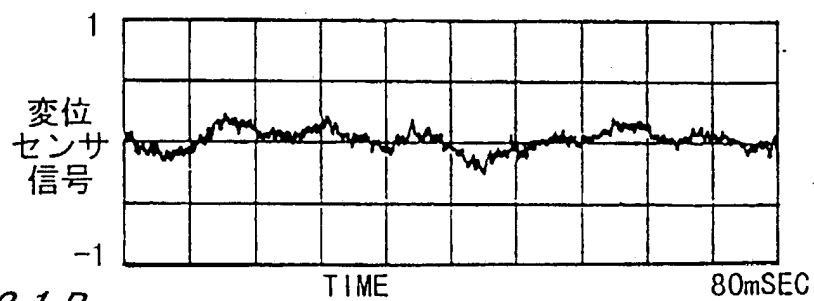
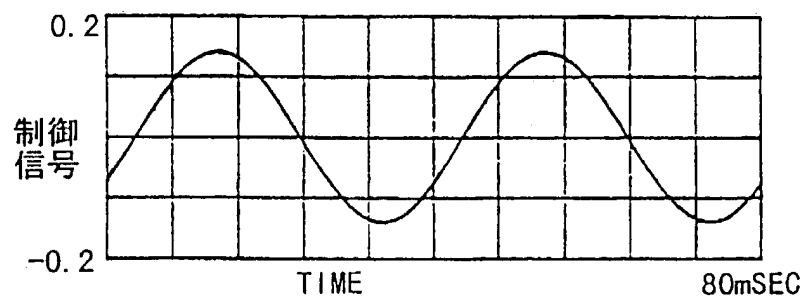


FIG. 21B



18/25

FIG. 22A

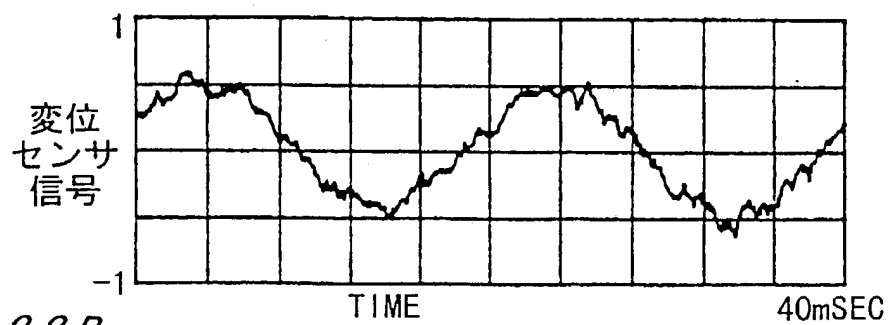
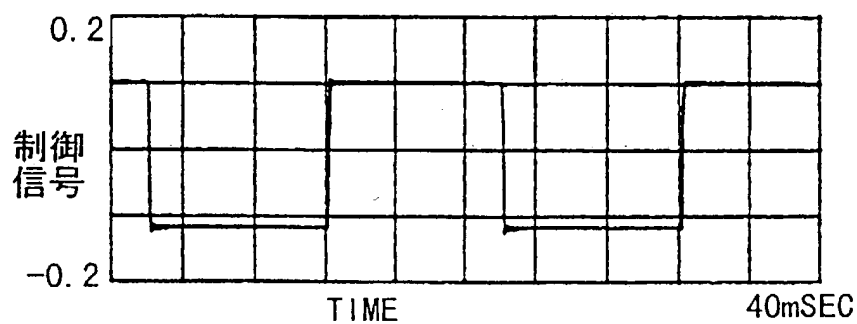


FIG. 22B



19/25

FIG. 23A

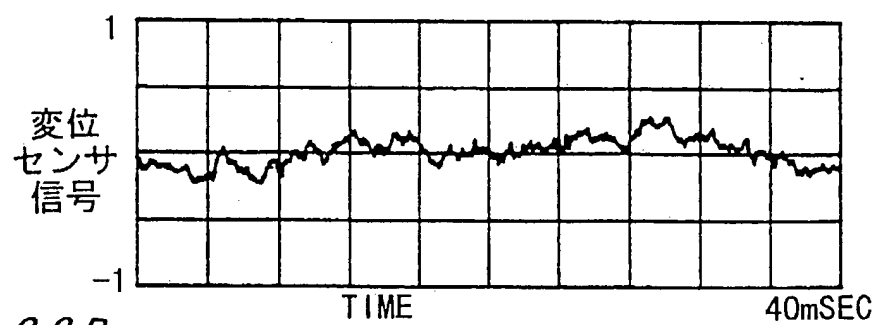
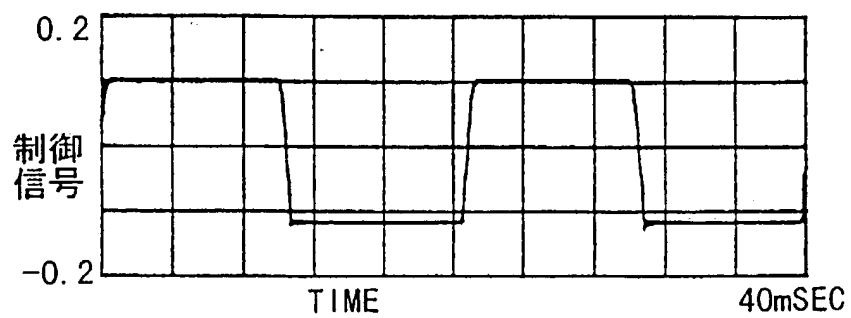


FIG. 23B



20/25

FIG. 24A

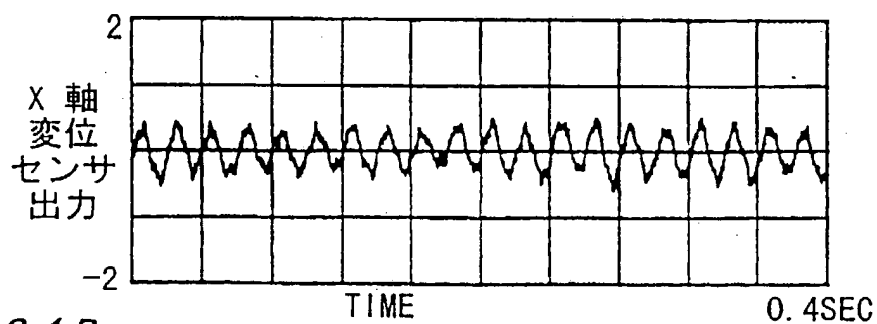
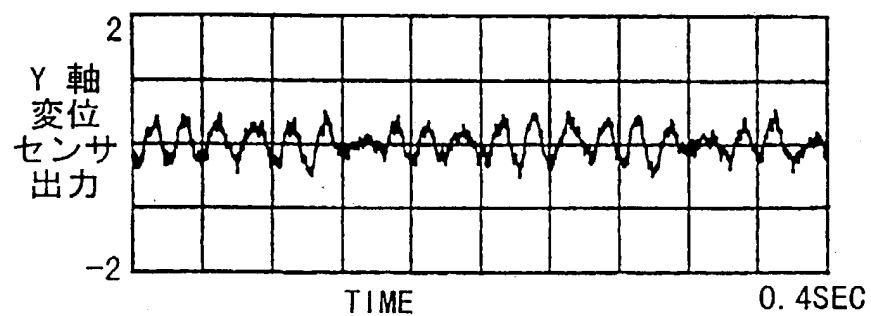


FIG. 24B



21/25

FIG. 25A

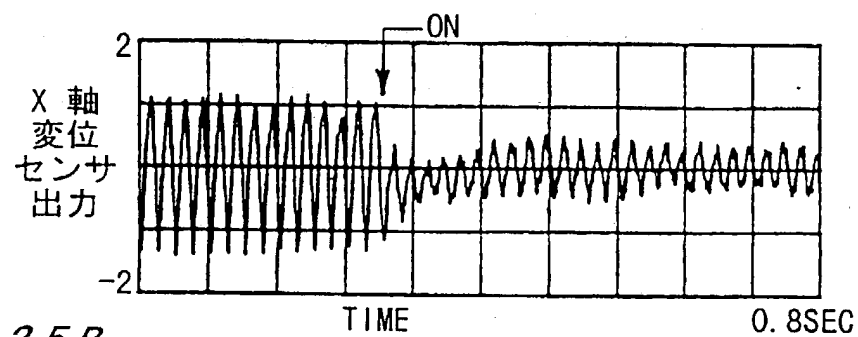
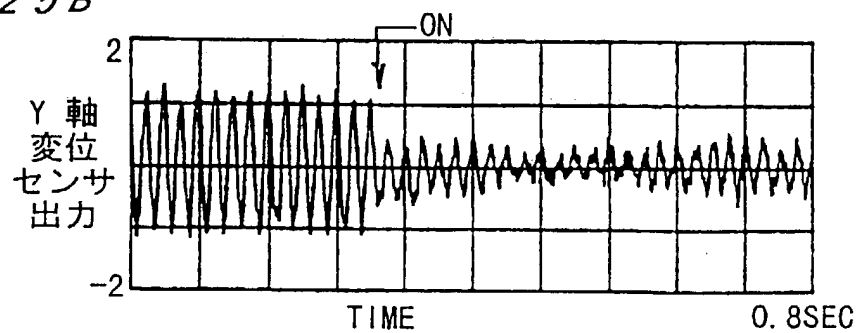
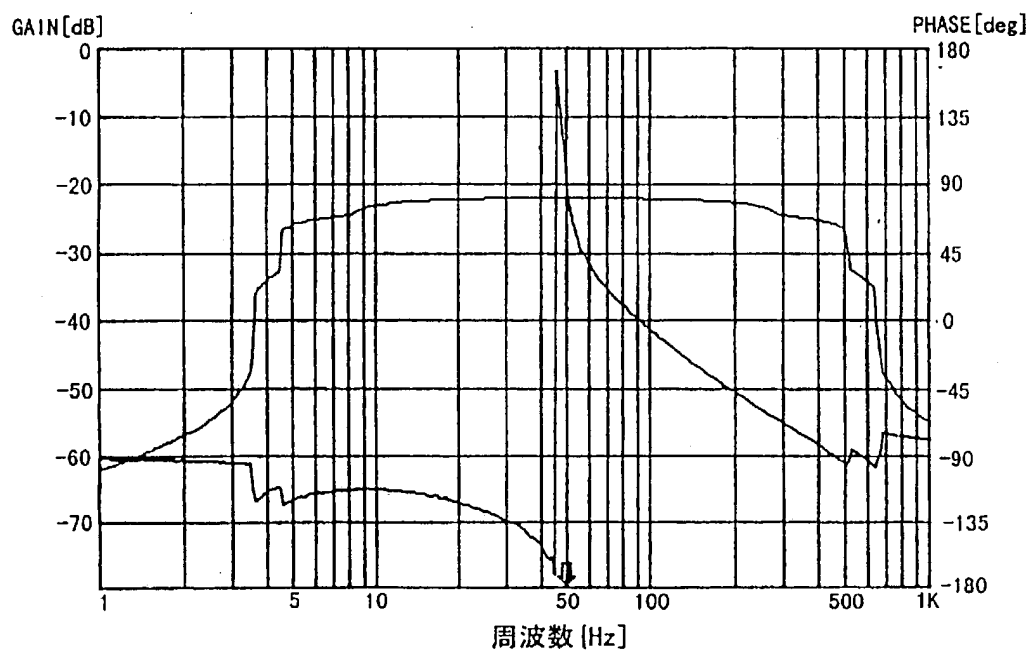


FIG. 25B



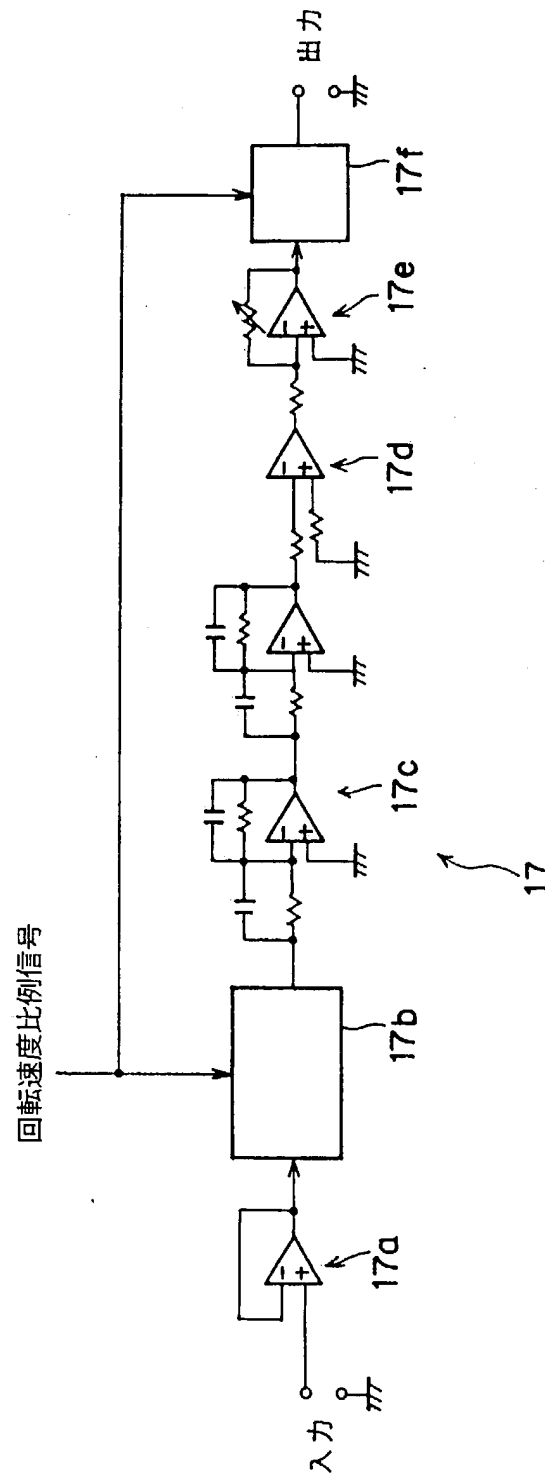
22/25

FIG. 26



23/25

FIG. 27



24/25

FIG. 28A



FIG. 28B

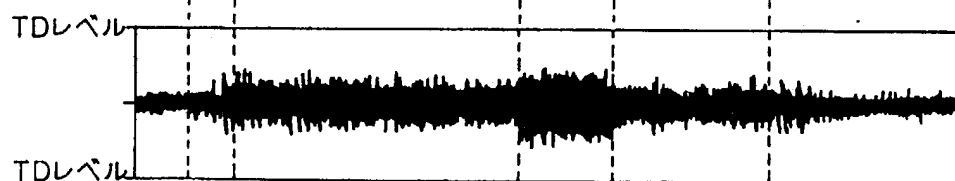
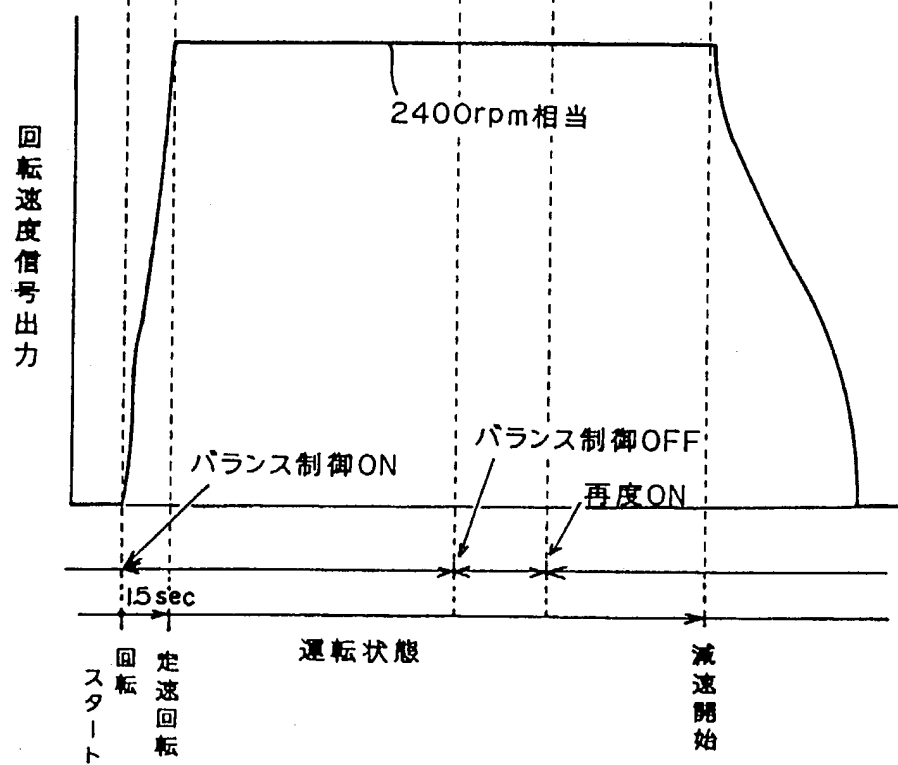


FIG. 28C



25/25

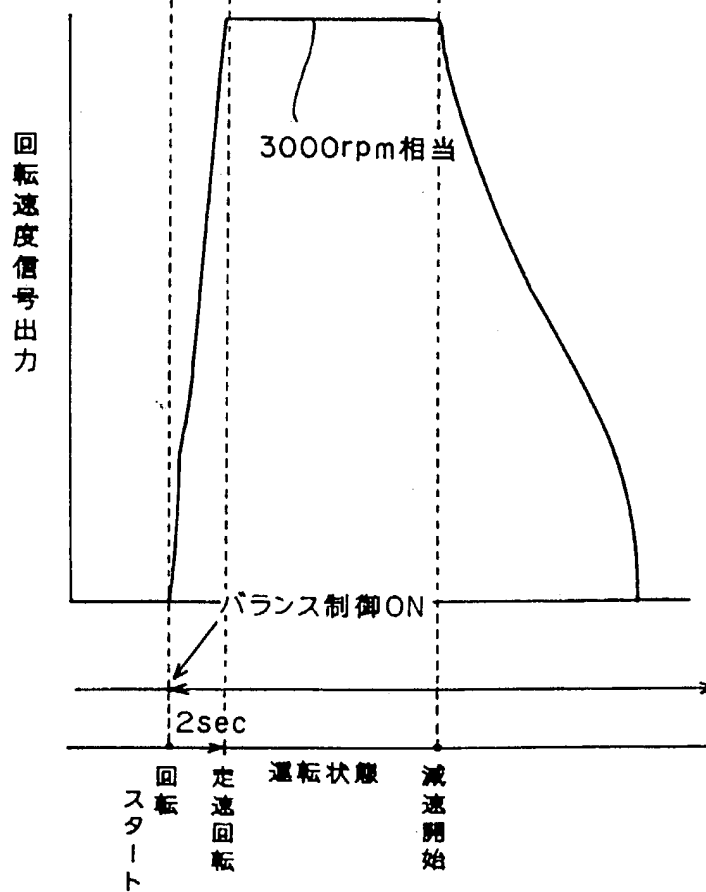
FIG. 29A



FIG. 29B



FIG. 29C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/00272

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ F16C32/04, H02K7/09, G05D3/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ F16C32/04, H02K7/09, G05D3/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 9-236122, A (Matsushita Electric Ind. Co., Ltd.), 09 September, 1997 (09.09.97), Fig. 1 (Family: none)	1, 2
Y	JP, 61-218427, A (Mitsubishi Electric Corporation), 27 September, 1986 (27.09.86), page 3, lower left column, line 5; page3, lower right column, line 3 (Family: none)	1, 2
A	JP, 4-321812, A (YASKAWA ELECTRIC CORPORATION), 11 November, 1992 (11.11.92), Fig. 1 (Family: none)	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 April, 2000 (18.04.00)Date of mailing of the international search report
02 May, 2000 (02.05.00)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP00/00272

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. F16C32/04, H02K7/09, G05D3/12

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. F16C32/04, H02K7/09, G05D3/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2000年

日本国登録実用新案公報 1994-2000年

日本国実用新案登録公報 1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 9-236122, A (松下電器産業株式会社), 09.9月.1997 (09.09.97), 第1図, (ファミリーなし)	1, 2
Y	JP, 61-218427, A (三菱電機株式会社), 27.9月.1986 (27.09.86) 第3頁左下欄第5行乃至同頁右下欄第3行, (ファミリーなし)	1, 2
A	JP, 4-321812, A (株式会社安川電機), 11.11月.1992 (11.11.92) 第1図, (ファミリーなし)	1-11

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18.04.00

国際調査報告の発送日

02.05.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

藤村聖子

印

3W

9425

電話番号 03-3581-1101 内線 3366

様式PCT/ISA/210 (第2ページ) (1998年7月)